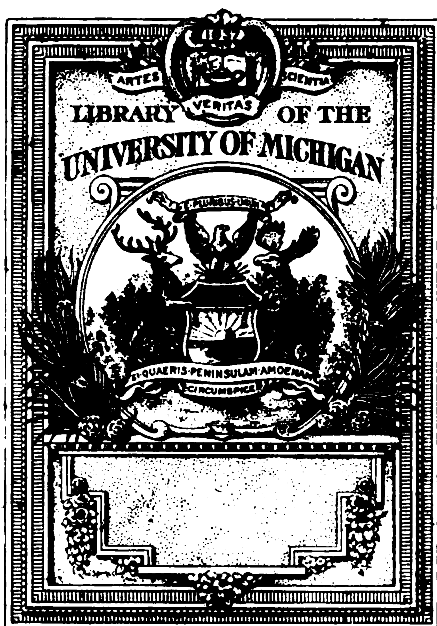
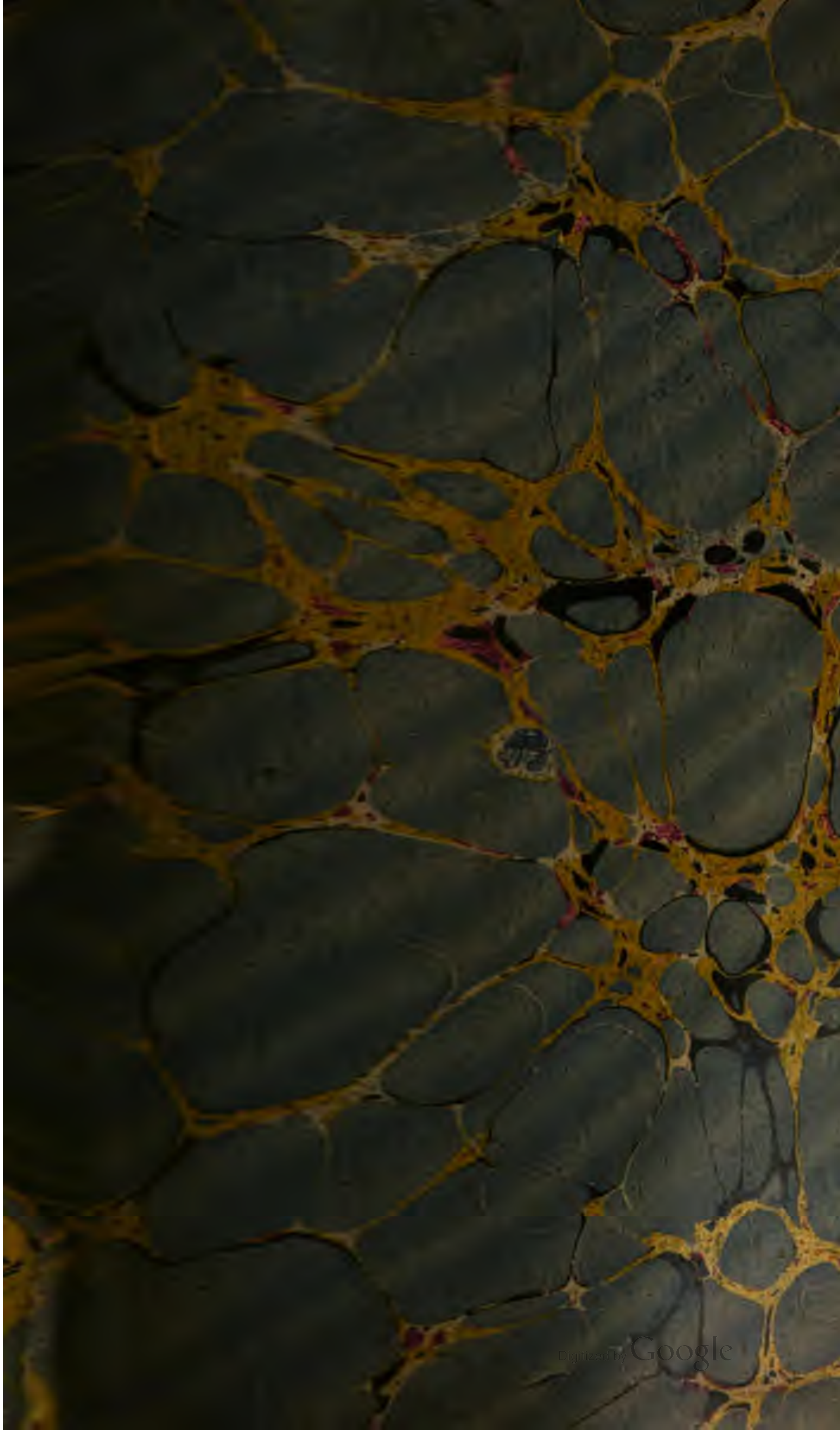

ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

1re PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

7e SÉRIE

7e ANNÉE

1897

3me TRIMESTRE

EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES

DE L'ÉDITEUR DES **ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES**

(Période 1881-1900)

Conditions stipulées au profit des auteurs :

Vingt-cinq exemplaires seront remis à chacun des auteurs des mémoires publiés.

. . . .

Mme Dunod devra exécuter, pour le compte des auteurs qui en auront fait la demande au moment même où ils enverront leurs manuscrits à l'Administration, et sur l'avis qui lui en sera donné, des tirages à part de leurs mémoires aux prix suivants :

1° Par *feuille de texte* et pour le premier cent d'exemplaires 10 francs ; pour chaque centaine en plus, 5 francs ;

2° Par *planche* et par cent exemplaires, 10 francs ;

3° Pour *brochage, couverture et faux frais :* pour une feuille de texte seule, 2 fr. 50 ; pour chaque feuille supplémentaire et chaque planche, 25 centimes ;

4° Pour un *titre spécial imprimé*, 10 francs.

Les auteurs qui ne pourraient s'entendre avec Mme Dunod pour la publication et la vente de leurs mémoires extraits des *Annales* qu'ils voudraient publier séparément pourront, avec l'autorisation de l'Administration, traiter avec tout autre éditeur et, dans ce cas, les planches et les bois des *Annales* pourront leur être prêtés pour les tirages qu'ils auront à faire ; mais la mise en vente de leurs mémoires ne pourra avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons des *Annales* auxquelles ils auront été empruntés.

AVIS IMPORTANT.

La Commission des *Annales* rappelle qu'elle n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs, et qu'elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

Ire PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS
RELATIFS
A L'ART DES CONSTRUCTIONS
ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

7e SÉRIE

7e ANNÉE

1897

3me TRIMESTRE

PARIS

P. VICQ-DUNOD ET Cie, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

N° 29

ÉTUDE

SUR LA

STATISTIQUE DES JAUGEAGES

EFFECTUÉS DANS LES PRINCIPAUX BASSINS FRANÇAIS

Par M. BRESSE, Ingénieur des Ponts et Chaussées.



La question de la mesure du débit des rivières a depuis longtemps préoccupé les Ingénieurs, et les *Annales* ont, à plusieurs reprises, inséré de savants mémoires contenant soit une étude théorique de la question, soit la description de nouveaux procédés de jaugeage.

Notre but a été infiniment plus modeste : chargé par l'Administration d'un travail de statistique, nous venons en exposer ici les résultats. Comme le disait le programme dressé par M. l'Ingénieur en chef Lemoine, sous la direction de qui notre étude a été faite, et qui nous a constamment aidé de ses bienveillants conseils, il ne s'agissait

« ni d'inventer des méthodes de jaugeage nouvelles, ni de « faire de nouvelles opérations sur le terrain, mais simple- « ment de présenter la statistique des résultats acquis sur « cette question ». C'est un inventaire que nous avons dressé : les renseignements nous ont été fournis par les services locaux, et notre rôle s'est borné à les coordonner.

Nous avons, dans chaque bassin, mis à part comme particulièrement intéressants les renseignements relatifs aux grandes crues, d'une part, et aux basses eaux d'autre part ; de plus, toutes les fois que, pour une même station, les jaugeages ont été suffisamment nombreux, nous avons cherché à en déduire la loi qui lie les débits aux hauteurs constatées à l'échelle la plus voisine, et à traduire cette loi sous forme graphique et sous forme algébrique, c'est-à-dire au moyen d'une courbe et d'une formule.

Il est rare qu'en disposant des trois coefficients de la formule parabolique du second degré :

$$Q = A + BH + CH^2$$

on n'arrive pas à représenter la courbe des débits d'une manière très satisfaisante, et c'est la forme que nous avons généralement adoptée. A moins d'indication contraire, H représente la hauteur à l'échelle ; mais, comme il est intéressant de mettre en évidence le débit d'étiage, nous avons le plus souvent mis nos formules sous la forme

$$Q = A + B(H - e) + C(H - e)^2,$$

dans laquelle e représente la cote positive ou négative qui correspond à l'étiage, et, par conséquent, $H - e$ la hauteur au-dessus de l'étiage.

De pareilles formules n'ont évidemment d'autre valeur que celle des jaugeages qui ont servi à les établir. Si ces jaugeages ont été suffisamment nombreux, les erreurs accidentelles se trouveront bien éliminées ; mais, si les

jaugeages sont entachés d'erreurs systématiques, si, par exemple, le moulinet a été mal taré, si les coefficients introduits dans les formules d'hydraulique ont été mal choisis, ces erreurs se retrouveront dans la formule.

Dans certains cas, on peut essayer de remanier après coup les résultats de l'expérience directe de manière à satisfaire à certaines conditions théoriques, par exemple pour obtenir aux différentes stations d'une même rivière des coefficients croissant progressivement de l'amont à l'aval. De semblables rectifications qui doivent être faites, en tout cas, avec beaucoup de prudence, exigent une connaissance approfondie des lieux, et nous nous en sommes complètement abstenu pour notre part. Nos courbes ont été tracées sans autre préoccupation que de passer le plus près possible des points déterminés par des jaugeages directs; dans ces conditions, nos formules ne représentent peut-être pas les débits; elles représentent du moins quelque chose de concret : les résultats des jaugeages; si nous les avions remaniées pour obtenir des résultats en apparence plus satisfaisants, nous aurions risqué d'avoir des formules qui n'auraient représenté ni les débits ni les résultats des jaugeages.

Il est évident que, toutes choses égales d'ailleurs, une formule présente d'autant plus de garanties d'exactitude qu'elle résulte de jaugeages plus nombreux et que les écarts entre la courbe et les points représentant les jaugeages sont plus faibles; aussi avons-nous tenu, toutes les fois que cela nous a été possible, à reporter sur nos graphiques les résultats directs des jaugeages. Il est non moins évident que les formules ne doivent être utilisées que dans les limites de hauteur où des jaugeages ont été faits.

Enfin il ne faut pas oublier que les formules ne sont plus applicables lorsque le régime de la rivière a été sensiblement modifié depuis les jaugeages, soit par suite de

travaux d'amélioration exécutés en vue de la navigation, soit simplement par suite de la mobilité du lit. Dans les cas les plus ordinaires, ces modifications affectent surtout la partie basse de la courbe des débits, mais elles peuvent aussi, dans certains cas, la rendre complètement inexacte, et nous en verrons plusieurs exemples dans le cours de notre étude.

BASSIN DE LA SEINE.

C'est dans le bassin de la Seine qu'il a été fait le plus de déterminations de débit. Les principaux résultats acquis ont déjà été résumés dans le *Manuel hydrologique du bassin de la Seine*, publié, en 1885, par MM. Lemoine et de Préaudeau. Nous ferons à ce *Manuel* de fréquents emprunts.

Débits des grandes crues.

Seine. — La crue la plus importante qui se soit produite sur la Seine depuis 1807 est celle de mars 1876, qui a atteint $6^m,50$ à l'échelle du pont de la Tournelle, et $7^m,69$ à l'échelle du pont de Mantes. Les crues de décembre 1882 et de janvier 1883 sont restées un peu au-dessous de celle de 1876; elles ont atteint respectivement $5^m,84$ et 6 mètres à l'échelle du pont de la Tournelle, $7^m,54$ et $7^m,60$ à Mantes. Par contre, sur la Marne et sur l'Oise, la seconde de ces crues a dépassé la crue de 1876.

Il ne parait avoir été fait aucun jaugeage sur la Seine en aval de l'Oise pendant la crue de 1876 ; mais, pendant les crues de décembre 1882 et de janvier 1883, le débit a été déterminé en plusieurs points, à peu près au moment du maximum, par MM. Caméré, Toulon et

Lechalas. Les vitesses étaient mesurées soit au moyen de flotteurs, soit avec le tube de Darcy ou le rhéomètre de M. de Lagrené. On a ainsi trouvé :

Crue de décembre 1882. — Maximum à Mantes : 7m,54 (8 et 9 déc. 1882).

11 déc. 1882 : En aval du confluent de l'Eure (entre Elbeuf et Orival, kil. 221)	2.483mc
10 déc. 1882 : En amont de l'écluse de Poses (kil. 201,8)...	2.246
8 et 12 déc. 1882 : En aval de l'écluse de la Garenne (kil. 162,4)	2.363
9 déc. 1882 : En amont de l'écluse de Port-Villez (kil. 143,8)	2.149
9 déc. 1882 : à Méricourt (kil. 120,9)	2.203
— à Rolleboise (kil. 119,6)	2.117
10 déc. 1882 —	2.155
9 déc. 1882 : En aval de l'écluse de Meulan (kil. 95,6)...	2.128

Crue de janvier 1883. — Maximum à Mantes : 7m,60 (7 janvier).

7 janvier 1883 : En aval de l'écluse de la Garenne......	2.240mc
— En amont de l'écluse de Port-Villez....	2.141
6 janvier 1883 : à Méricourt	2.123
— à Rolleboise	2.201

De ces observations très concordantes on peut déduire que le débit d'une crue qui atteint 7m,60 au pont de Mantes est d'environ 2.200 mètres cubes et 2.500 mètres cubes en aval du confluent de l'Eure.

Les principales données relatives aux grandes crues de la Seine, à Paris et en amont, sont résumées dans le tableau suivant :

LIEU du jaugeage	DATE du jaugeage	ÉCHELLE de comparaison	COTE à l'échelle	DÉBIT	OBSERVATIONS
				m.c.	
Paris entre le pont des Invalides et le pont de l'Alma.	17 mars 1876	La Tournelle	6,50	1.652	Floteurs (MM. Vaudrey et Broselin). — Jaugeage fait au moment du maximum.
	10 décembre 1882	id.	5,34	1.262	Flotteurs (MM. Bernard et Pérouse). — Jaugeage fait 3 jours après le maximum, l'eau ayant déjà baissé de 0^m,50 à la Tournelle.
	5 janvier 1883	id.	6,00	1.504	Flotteurs (MM. Bernard et Pérouse). — Jaugeage fait au moment du maximum.
Corbeil	janvier 1883	Corbeil	4,30	1.263	Flotteurs (M. Lavollée). — Maximum de la crue.
Melun	mars 1876	Melun	4,92	1.340	Flotteurs (M. Lavollée). — Maximum de la crue. — La crue de septembre 1866 a atteint à Melun 5^m,27, et la plus grande crue connue (1830) 6^m,38.
Bray entre Nogent-sur-Seine et Montereau.	2 janvier 1883	Bray	2,91	430	Plus grande crue connue 3^m,13 (janvier 1861).

Oise et Aisne. — Pour l'Oise, on possède un jaugeage dû à M. Dusuzeau qui a déterminé à Compiègne, au moyen de flotteurs, le débit de la crue du 1er décembre 1882, laquelle a atteint 5^m,99 à l'échelle de Venette. L'expérience, faite au moment du maximum, a donné 515 mètres cubes. Il est à remarquer que la hauteur de 5^m,99 n'a pas été atteinte à Venette depuis 1850.

Sur l'Aisne, la plus forte crue du siècle est celle de fin novembre 1882, qui a atteint 3^m,87 à l'échelle de Pontavert. Cette crue n'a pas été jaugée directement ; mais les courbes de débit, dressées tant pour Soissons que pour Biermes au moyen de jaugeages poussés jusqu'à une hauteur inférieure d'environ 0^m,50, permettent d'évaluer le débit de cette crue à 480 mètres cubes environ.

Marne. — La plus forte crue connue sur la Marne depuis 1844 est celle de décembre 1882-janvier 1883, qui

a atteint $4^m,60$ à l'échelle de Chalifert et $4^m,46$ au pertuis de Damery. La crue de 1876 est restée un peu au dessous ($4^m,42$ à Chalifert, et $4^m,25$ au pertuis de Damery).

On a trouvé au moyen de flotteurs :

	A MEAUX	A CHALONS
	mètres cubes	mètres cubes
En 1876	544	750
En 1882-1883	700	960

A Vitry, M. Victor Fournié évaluait à 307 mètres cubes le débit de la crue de janvier 1861, qui a atteint à Saint-Dizier 4 mètres, soit $0^m,23$ en dessous de la crue de décembre 1882.

Yonne et affluents. — Sur l'Yonne, la plus forte crue connue est celle de 1866, qui a atteint au pont de Sens $4^m,30$. M. Cambuzat évaluait son débit à Sens à 1.100 mètres cubes. La crue de 1876, qui a atteint, à la même échelle, $3^m,40$, a été jaugée au moyen de flotteurs par M. Chigot, qui a trouvé 776 mètres cubes. Le débit de cette même crue, à Auxerre, est évalué à 400 mètres cubes ; à Clamecy, un jaugeage par flotteurs a donné 112 mètres cubes ($H = 2^m,10$).

Le débit de la crue de 1866 est évalué :

A **500 mètres cubes** pour le Serein, à l'Isle ($H = 3^m,98$) ;
300 — le Serein, à Précy-sur-Thil ($H = 3\ ,40$) ;
800 — l'Armançon, à Aisy ($H = 3\ ,75$).

Jaugeages en eaux basses et moyennes. Courbes de débit.

En un assez grand nombre de stations on a pu établir des courbes de débit ; nous ne parlerons que des stations les plus importantes.

Seine. — A Mantes, la courbe des débits a été tracée au moyen des jaugeages faits à Triel et au Manoir par MM. Emmery et Saint-Yves. Ces jaugeages ont donné les résultats suivants :

Hauteurs à l'échelle de Mantes.	0,57	0,75	0,84	0,85	1,05	1,18	1,72	1,76	2,23	2,86	2,89	3,40	3,90	4,85	5,15
Débits à Triel....	133	149		172		244		353	466		609	716	920	1.101	1.221
Débits au Manoir.			172		209		363			553					

M. Cheysson en a déduit la formule suivante :

$$Q = 90 \sqrt{(H + 1)^3 (0,62 + 0,05H)}.$$

Cette formule étant assez compliquée, on a proposé, pour la remplacer, les formules suivantes :

$$Q = 71 + 110H + 25H^2 \qquad \text{(M. de Lagrené)}$$

ou :

$$Q = 170 + 150 (H - 0,80) + 22 (H - 0,80)^2 \quad \text{(M. de Préaudeau)}.$$

Toutes ces formules concordent d'ailleurs d'une manière satisfaisante avec les résultats des jaugeages des crues de 1882-1883.

Pour les débits de la Seine, à Paris, M. de Préaudeau a proposé les deux formules suivantes, rapportées à

l'échelle du pont de la Tournelle et applicables seulement au-dessus de la cote 2 mètres :

$$Q = 110 + 180H + 9H^2$$

et :

$$Q = 70\sqrt{(H + 1,80)^3}.$$

Ces deux formules, qui donnent des résultats à peu près équivalents, ont été établies au moyen de jaugeages faits par flotteurs, dans l'intérieur de Paris, pendant les crues de 1876, 1879 et 1882-1883, et à Saint-Cloud en 1876, 1877 et 1882. Elles ont été confirmées pendant la crue de février 1889 par des jaugeages dus à M. Bousigues.

Dans la formule parabolique le coefficient de H^2 est relativement très petit, et l'arc de parabole ne s'éloigne pas beaucoup d'une droite. On constate, en effet, que la formule linéaire très simple :

$$Q = 250H$$

donne des résultats qui ne s'écartent pas de plus de 3 0/0 de ceux donnés par la formule parabolique.

M. Boulé a établi pour les débits, au pont de Melun, entre les cotes $0^m,20$ et $3^m,50$, la formule suivante où est mise en évidence la hauteur au-dessus de l'étiage de 1840 :

$$Q = 40 + 90(H - 0,40) + 45(H - 0,40)^2.$$

Les jaugeages étaient faits au moyen du moulinet de Woltmann (quelques-uns au moyen de flotteurs), pendant la période d'abatage des barrages. La formule a d'ailleurs été vérifiée pour les hauteurs supérieures à $3^m,50$ pendant les crues de 1876 et de 1882-1883.

Enfin nous avons déduit des jaugeages faits entre les confluents de l'Yonne et de l'Aube par M. de Sermet, puis

par M. Chanoine, la formule :

$$Q = 10 + 15H + 25H^2 \quad \text{(applicable de 0 à } 2^m,64\text{)},$$

où H représente la hauteur au-dessus de l'étiage de 1840.

Oise. — Sur l'Oise on possède deux courbes de débits. La première, relative à Compiègne, résulte de vingt et un jaugeages exécutés au moyen de flotteurs qui ont conduit à admettre la relation suivante entre les hauteurs et les débits :

Hauteurs à Compiègne................	2,36	2,50	2,75	3,00	3,50	4,00
Débits..........................	18	36	75	126	227	328

A partir de la cote $2^m,75$, cette relation est bien représentée par la formule linéaire :

$$Q = 75 + 202\,(H - 2,75).$$

M. Dusuzeau a fait, pendant la crue de 1882, quatre jaugeages qui, pour les cotes 3,38, 3,52, 4,58 et 5,23, ont donné respectivement 215, 246, 350 et 515 mètres cubes. Les deux premiers concordent bien avec la formule, mais les deux derniers donnent des résultats beaucoup plus faibles ; ce qui montre que la formule n'est pas applicable au-delà de 4 mètres.

A Pimprez (à 21 kilomètres en amont du confluent de l'Aisne), on a obtenu de même, au moyen de douze jaugeages, compris entre — $0^m,05$ et $3^m,46$, la relation :

$$Q = 5,5 + 10H + 4H^2.$$

Aisne. — L'Aisne, à Soissons, a été jaugée à plusieurs reprises, de 1886 à 1888, au moyen de flotteurs lestés :

ces jaugeages étaient faits au moment du maximum des crues. MM. Boeswilwald et Lefort ont résumé les résultats de leurs expériences au moyen des deux formules linéaires :

$$Q = 66\,(H - 37{,}13), \quad \text{pour } H < 40{,}44 \text{ (cote de submersion)};$$
$$Q = 206 + 115\,(H - 40{,}96), \quad \text{pour } H > 40{,}96;$$

avec courbe de raccordement entre 40,44 et 40,96.

Dans ces formules H représente la hauteur au pont de Soissons. Si on veut comparer les débits aux hauteurs à Pontavert, on a de même les deux formules linéaires :

$$Q = 5 + 58H, \quad \text{pour } H < 2{,}50 \text{ (cote de submersion)};$$
$$Q = 246 + 320\,(H - 3{,}16), \quad \text{pour } H > 3{,}16;$$

avec courbe de raccordement de 2,50 à 3,16.

Les débits de l'Aisne à Semuy (entre Réthel et Vouziers) ont été mesurés de même, par M. Perrin, au moyen de flotteurs ; il a déduit de ces expériences la relation suivante, entre les débits et la hauteur mesurée à l'échelle de Rilly :

Hauteurs à Rilly.	2,40	2,70	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	4,90
Débits à Semuy.	20	34	48	60	75	95	122	160	210	277	322

Pour en déduire la courbe des débits à Biermes (Réthel), M. Perrin a opéré de la manière suivante : Prenant un jaugeage fait à Semuy, il augmentait le débit proportionnellement aux surfaces des bassins versants, c'est-à-dire de 7 0/0, et, la durée de la propagation des crues étant connue, il pouvait trouver, sur le tableau des hauteurs journalières à Biermes, la cote correspondante ; il a ainsi obtenu la relation suivante :

Hauteurs à Biermes..	— 0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	2,90
Débits à Biermes....	6	15	25	36	48	63	81	104	133	170	212	260	310	340

Au-dessus de 1 mètre, cote de submersion, cette relation est très bien représentée par la formule :

$$Q = 62 + 70\,(H - 1) + 40\,(H - 1)^2.$$

Cette formule est applicable aussi aux hauteurs comprises entre $0^m,50$ et 1 mètre ; mais, au-dessous de $0^m,50$, elle donne des résultats beaucoup trop forts.

Marne. — Sur la Marne, les déterminations de débit ont été très nombreuses, et on a pu, pour beaucoup de stations, déterminer la courbe des débits. Nous rappellerons ici les principaux résultats :

Au moyen de nombreux jaugeages faits à Gournay par M. Stapfer, de 1858 à 1861, et à Joinville par M. Carro, en 1876, nous avons établi la relation suivante entre les débits et la hauteur à Gournay :

$$Q = 38 + 80H + 6H^2.$$

Quand H est supérieur à 4 mètres, cette formule donne des résultats trop faibles, et il faut ajouter le terme complémentaire $230\,(H - 4)^2$.

De même, treize jaugeages faits à Lagny par M. le Conducteur Gillon, en 1876, nous ont permis d'établir la courbe des débits à Lagny, rapportés aux hauteurs à Chalifert. Cette courbe se compose de deux droites représentées par les formules :

$Q = 80 + 104\,(H - 0,50)$ au-dessous de $3^m,70$ (cote de submersion)
$Q = 413 + 214\,(H - 3,70)$ au-dessus de $3^m,70$.

Le tableau suivant, déduit des expériences faites par M. Moquet avec le moulinet de Woltmann, donne les débits de la Marne à Meaux :

Cotes à l'échelle de Meaux en amont de l'entrée du canal de Meaux à Chalifert...........	−0,35	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
Débits à Meaux...............	8	14	34	78	135	200	274

D'autre part, un jaugeage fait en 1876 au moyen de flotteurs a donné 266 mètres cubes seulement pour une cote de $3^m,14$. Il y a donc discordance absolue entre les résultats, et il sera sans doute nécessaire de vérifier par de nouvelles expériences la relation donnée par M. Moquet.

Pour Château-Thierry, nous avons déduit des expériences de M. Carro la formule :

$$Q = 4 + 30H + 22H^2, \qquad \text{entre 0 et } 3^m,50.$$

Citons encore les jaugeages très suivis faits, en 1863-1864, à Mareuil-sur-Ay et à La Chaussée, au moyen de flotteurs. Nous en avons déduit les formules suivantes :

Pour Mareuil-sur-Ay : $Q = 15 + 15H + 12H^2$ — Formule applicable seulement entre $0^m,60$ et $3^m,00$ (H est la hauteur au-dessus de l'étiage de 1858) ;

Pour La Chaussée : $Q = 10 + 40H + 6H^2$ — (formule applicable entre 0 et 2 m.).

Enfin, à Vitry, M. Victor Fournié a fait de nombreux jaugeages, très soignés, au moyen du moulinet de Woltmann. Les hauteurs étaient prises à l'échelle de Larzicourt, qui n'est pas influencée par le remous des moulins. La corrélation entre les débits et la hauteur est la suivante :

Hauteurs à Larzicourt..	—0,10	—0,04	0,00	0,30	0,50	0,70	1,00	1,30	1,50	1,70	2,00	2,20	2,25
Débits à Vitry........	2,5	3,5	4	13	29	53	87	112	139	170	233	290	307

Elle est assez bien traduite par la formule :

$$Q = 4 + 20H + 50H^2.$$

Dans cette longue série de déterminations de débit faites sur la Marne, nous devons cependant signaler deux lacunes regrettables relatives aux deux stations du pertuis de Damery et de Saint-Dizier. Il est d'autant plus désirable que des expériences soient entreprises, pour combler ces lacunes, que ces deux stations ont une importance exceptionnelle pour l'annonce des crues de la Marne.

Saulx et Ornain. — Parmi les affluents de la Marne, la Saulx et l'Ornain sont les seuls pour lesquels on ait quelques déterminations suivies. A Vitry-le-Brûlé, sur la Saulx, dix-huit jaugeages, dus au Service du canal de la Marne au Rhin, qui a employé des flotteurs, nous ont permis d'établir la formule suivante :

$$Q = 2,6 + 11H + 9,5H^2,$$

applicable pour les valeurs de H comprises entre — $0^m,02$ et $2^m,45$.

A Bar-le-Duc, sur l'Ornain, on a :

$$Q = 13 + 15H + 10H^2;$$

H est la hauteur à l'échelle du pont-canal de Chanteraines (un peu en aval de Bar). Cette formule résulte de sept jaugeages faits à des hauteurs variant entre $0^m,87$ et $1^m,85$.

Yonne et Cure. — Dans le bassin de l'Yonne, les seules déterminations suivies, faites depuis 1860, sont dues à M. Chigot qui a, pendant la décroissance de la crue de 1876, effectué le jaugeage de l'Yonne, à Sens, au moyen de flotteurs, pour différentes hauteurs, et a obtenu ainsi les chiffres suivants :

Hauteurs à l'échelle de Saint-Maurice......	1,11	1,28	1,48	1,75	1,95	2,04	2,21	2,41	2,62	3,15	(*) 3,40	(*) (maximum)
Débits à Sens........	122	143	179	254	317	345	397	460	526	696	776	

A partir de $1^m,75$, l'accroissement de débit est à peu près uniformément de $31^{mc},600$ par décimètre de montée.

En 1859-1860, M. Marini a fait des expériences très suivies, au moyen de flotteurs, à six stations, savoir :

L'Yonne, aux Dumonts (4 kilomètres en aval d'Auxerre) ;
— aux Islets (un peu en amont) ;
— à Vincelottes (en aval du confluent de la Cure) ;
— à Deÿ (en aval du confluent du Beuvron) ;
— à Clamecy (en amont du confluent du Beuvron) ;

La Cure, à Arcy (en aval du confluent du Cousin).

Nous n'avons pu retrouver les résultats des jaugeages faits par M. Marini, mais seulement les courbes de débit que ces jaugeages lui ont permis d'établir. Ces courbes peuvent être représentées par les formules suivantes :

Yonne,	aux Dumonts :	$Q = 3,14 + 114H + 50H^2$	de 0 à $2^m,00$
—	aux Islets :	$Q = 6 + 55H + 45H^2$	de 0 à 2 ,00
—	à Vincelottes :	$Q = 3H + 41H^2$	de 0 à 2 ,45
—	à Deÿ :	$Q = 0,7 + 13H + 23H^2$	de 0 à 2 ,30
—	à Clamecy :	$Q = 0,75 + 16H + 18H^2$	de 0 à 2 ,10
Cure,	à Arcy :	$Q = 4H + 18H^2$	de 0 à 2 ,50.

Débit des basses eaux.

Il a été fait de très nombreux jaugeages en basses eaux sur les différentes rivières du bassin de la Seine, notamment pendant les sécheresses exceptionnelles de 1870 et de 1874, sur la demande de M. Belgrand. Le *Manuel hydrologique du bassin de la Seine* contient un tableau où sont indiqués les résultats de ces jaugeages. Nous croyons inutile de reproduire ce tableau, et nous nous bornerons à appeler l'attention sur les résultats les plus intéressants.

Seine. — On n'a pas de données précises sur les débits des plus basses eaux de la Seine en aval du confluent de l'Oise. Le plus petit débit obtenu par un jaugeage direct (133 mètres cubes) correspond à la cote $0^{m},57$ à l'échelle de Mantes, tandis qu'en août 1874 les eaux sont descendues à la cote $0^{m},05$ à la même échelle. Le service hydrométrique évalue le débit correspondant à 65 mètres cubes.

A Paris, la Seine a été jaugée le 12 août 1858, sous les arches du pont Royal, par M. Vaudrey, au moyen du tube de Darcy. L'échelle du pont Royal marquait 0 ; on a trouvé 48 mètres cubes. En 1865, le niveau est descendu à — $0^{m},57$, et le débit à 36 mètres cubes. Ce sont là des minima absolument exceptionnels.

A Port-à-l'Anglais, le 3 septembre 1870, M. Boulé a trouvé un débit de 23 mètres cubes. L'échelle de Corbeil marquait — $0^{m},30$.

A Nogent-sur-Seine, en aval du confluent de l'Aube, on a trouvé, en 1874, $10^{mc},48$ (cote à l'échelle de Nogent, $0^{m},05$). Mais ce n'est pas là le débit minimum, car la Seine est descendue, en 1870, jusqu'à — $0^{m},28$ à la même échelle.

A Troyes, le débit minimum est, d'après M. Quilliard, 1^{mc},892 (28 septembre 1874).

Oise. — Il ne semble pas qu'il ait été fait de jaugeages en basses eaux sur l'Oise en aval du confluent de l'Aisne. En amont de ce confluent, on a trouvé, pendant les sécheresses de 1874 :

A Chauny :	4^{mc},662	(cote à Condren 0^{m},11)
A Bohéries :	1 ,288	(cote à Bohéries 0^{m},04)
A Hirson :	0 ,293	

Aisne. — Sur l'Aisne on a trouvé :

En 1858,	à Choisy-au-Bac :	8^{mc},937	(cote à l'échelle aval de Carandeau : 30,61)
—	à Soissons :	7 ,222	(cote à Pontavert : 0,00)
En 1874,	à Berry-au-Bac :	5 ,546	
—	à Biermes :	3 ,213	
—	à Sainte-Menehould :	0 ,700	(cote au pont des Maures, 0,13; soit 0,18 au-dessus du minimum).

Marne et Saulx. — Le débit d'étiage de la Marne à Charenton, d'après un jaugeage fait le 30-31 août 1858, serait de 15^{mc},760; mais, dans la partie dite « Tour de Marne (*) », le débit peut s'abaisser beaucoup plus; et M. Malézieux, dans des expériences faites en 1869 sur l'arrière-radier du barrage de Joinville, a trouvé un débit minimum de 2^{mc},36.

D'après M. Moquet, le débit d'étiage de la Marne serait, à Château-Thierry, de 12 mètres cubes et, à Damery, de 8 mètres cubes.

(*) En temps de sécheresse, la dérivation dite « Canal Saint-Maur » absorbe une notable fraction du débit.

On a trouvé, en 1874 :

Marne, à Mareuil-sur-Ay :	5mc,270	(cote, 0,14 au-dessous de l'étiage de 1858);
— à Châlons-sur-Marne :	7 ,222	(cote à l'échelle de Châlons, — 0,17);
— à La Chaussée :	6 ,730	(cote à l'échelle de La Chaussée, — 0,40);
— à Saint-Dizier :	2 ,632	
— à Chaumont :	0 ,170	
Saulx, à Vitry-le-Brûlé :	2 ,445	(cote à l'échelle du pont — 0,01 à — 0,02).

Yonne, Armançon, Cure. — D'après M. Chanoine, le débit d'étiage de l'Yonne au pont de Sens est de 12mc,90. Le *Manuel hydrologique* donne, pour la cote 0m,17, un débit de 17 mètres cubes.

Les jaugeages de 1870 et de 1874, faits généralement au moyen de déversoirs, ont donné les résultats suivants :

Yonne, aux Dumonts :	3mc,600	(M. Remise, 1874);
— au Pertuis du Vaux :	2 ,457	—
— à Château-Chinon :	0 ,329	(MM. Quaisin et Chardard, 1870);
Armançon (près Saint-Florentin) :	1 ,504	(M. Étienne, 1870 : flotteurs);
— à Tonnerre :	0 ,827	id.
— à Aisy :	0 ,185	(M. Étienne, 1870);
Cure, à Arcy :	1 ,023	(M. Remise, 1874).

Résumé.

En résumé, on dispose pour le bassin de la Seine d'un ensemble de documents tout à fait exceptionnel; mais, néanmoins, il subsiste encore quelques lacunes qu'il serait désirable de combler par des expériences qui ne paraissent pas, d'ailleurs, devoir présenter de grandes difficultés.

Il serait particulièrement intéressant de contrôler, par jaugeages directs au moment des crues, les évaluations faites pour le débit de certains affluents torrentiels de l'Yonne, comme le Serein et l'Armançon, qui arrivent à débiter des cubes très importants et jouent, en raison de l'imperméabilité de leur bassin, un grand rôle dans les crues de la Seine à Paris.

BASSIN DE LA MEUSE

Résultats obtenus par les ingénieurs de la navigation de la Meuse.

On doit à MM. Poincaré et Mouton une étude très intéressante sur le régime de la Meuse, tant sur le territoire français qu'en Belgique et en Hollande. Nous allons exposer rapidement la méthode suivie :

Des jaugeages directs, exécutés pour la plupart avec le moulinet de Woltmann, ont permis de tracer les courbes de débit pour les stations ci-après :

La Meuse, à Venloo, à Maeseyck, à Maëstricht, à Tailfer, à Givet, à Fumay, à Sedan, à Verdun, à Saint-Mihiel, à Pont, à Pagny-la-Blanche-Côte, à Neufchâteau et à Saint-Thiébault;

Le Vair, à Soulosse et à Laneuveville;

La Vraine, à Saint-Paul;

Le Mouzon, à Neufchâteau, à Circourt et à Soulancourt;

L'Anger, à Jainvillotte.

En dehors de ces courbes, que nous appellerons courbes principales, on a, en vue de l'annonce des crues, établi un certain nombre de courbes auxiliaires. Les débits correspondant aux faibles hauteurs étaient obtenus par des jaugeages effectués aux usines les plus proches; le reste de la courbe s'obtenait par la comparaison des hau-

teurs atteintes par diverses crues avec les débits constatés pour la même crue aux deux stations principales les plus rapprochées.

M. Mouton estimait que l'on avait ainsi des résultats très satisfaisants. Il a calculé, au moyen des courbes de débit et pour différentes stations, les portées totales de la Meuse pendant la crue qui a duré du 1er novembre 1882 au 15 janvier 1883. En comparant ces portées aux volumes de pluie tombée sur le bassin versant, il a obtenu les coefficients d'écoulement suivants :

A Venloo (station principale)	0,73
Ruremonde	0,73
Maëseyck (station principale)	0,76
Maestricht (station principale)	0,73
Namur	0,78
Dinant	0,83
Hastière	0,81
Stenay	0,76
Verdun (station principale)	0,83
Saint-Mihiel (station principale)	0,84
Pagny-la-Blanche-Côte (station principale)	0,81

On voit que ces nombres varient entre des limites assez rapprochées, et on peut, à bon droit, en tirer une présomption d'exactitude en faveur des courbes qui ont servi à les calculer.

Après les derniers travaux de canalisation, il a été jugé nécessaire de procéder à une rectification des courbes primitives. On y est arrivé en opérant comme nous l'avons expliqué ci-dessus à propos des courbes auxiliaires et en choisissant pour terme de comparaison les stations où le régime n'avait pas été altéré.

Nous donnons, dans la planche 24, d'après M. Mouton, les courbes de débit suivantes :

Meuse, à Maëstricht;

— à Givet;

Meuse, à Sedan;
— à Verdun;
— à Pagny-la-Blanche-Côte;
— à Saint-Thiébault;
Chiers, à Carignan;
Vair, à Soulosse;
Mouzon, à Neufchâteau.

Plusieurs de ces courbes sont de forme assez compliquée; quelques-unes présentent des inflexions : nous avons pu cependant, pour quelques stations, traduire les courbes par une formule simple.

A Venloo (Hollande), la courbe donnée par M. Mouton peut être représentée par les deux formules suivantes :

$$Q = 80 + 90H + 10H^2 \quad (\text{jusqu'à } 5^m,50)$$
$$Q = 80 + 90H + 10H^2 + 100\,(H - 5,50)^2 \quad (\text{de } 5^m,50 \text{ à } 8^m,40)$$

(H est la hauteur au-dessus de l'étiage).

A Maëstricht, on a :

$$Q = 35 + 116H + 60H^2 \quad (\text{de } 0 \text{ à } 3^m,80)$$

(H est la hauteur au-dessus de l'étiage).

De $3^m,80$ à $4^m,40$, limite de la courbe tracée par M. Mouton, cette formule donne des résultats un peu faibles ; mais cette partie de la courbe présente beaucoup d'incertitude.

A Givet, on a :

$$Q = 20 + 120H + 40H^2$$

(de 0 à 1^m, tube de Pitot; de 1^m à $3^m,20$, flotteurs; H est la hauteur au-dessus de l'étiage).

A Sedan, presque toute la courbe a pu être déterminée au moyen de jaugeages directs (moulinet de Woltmann);

elle est très bien représentée par les deux formules:

$$Q = 14 + 80\,(H - 0{,}20) + 15\,(H - 0{,}20)^2 \quad \text{(de } 0^m{,}20 \text{ à } 3^m\text{, cote de submersion);}$$
$$Q = 14 + 80(H - 0{,}20) + 15(H - 0{,}20)^2 + 130(H - 3)^2 \quad \text{(de } 3^m \text{ à } 4^m\text{).}$$

Enfin, à Saint-Thiébault, les jaugeages ont été faits au moulinet de Woltmann, entre $0^m{,}50$ (cote d'étiage) et $2^m{,}20$ et de $2^m{,}20$ à $3^m{,}60$, au moyen de la dénivellation produite par la levée du chemin de grande communication n° 16.

La courbe des débits se compose de deux droites :

$$Q = 0{,}5 + 15\,(H - 0{,}50) \quad \text{(de } 0^m{,}50 \text{ à } 1^m{,}60\text{);}$$
$$Q = 30 + 45\,(H - 2{,}00) \quad \text{(de } 2^m{,}00\text{, cote de submersion, à } 3^m{,}60\text{);}$$

avec courbe de raccordement entre $1^m{,}60$ et 2 mètres.

Coefficients d'écoulement. — Nous donnerons également ici, d'après MM. Mouton et Poincaré, les coefficients d'écoulement de la crue de février-mars 1876, pour diverses stations.

	SURFACE du bassin versant	PROPORTION 0/0 DES TERRAINS			COEFFICIENT d'écoulement
		Imperméables	Semi-perméables	Perméables	
Meuse à Stenay	3.882 kq	29	23	48	0,81
— à Verdun	3.157	29	27	44	0.82
— à Pagny-la-Blanche-Côte	1.624	47	19	34	0,84
— à Neufchâteau (en aval du Mouzon)	868	52	19	29	0,81
— à Saint-Thiébault	316	96	»	4	0,95
Vair, à Soulosse	433	44	30	26	0,63
Mouzon, à Neufchâteau	424	31	37	32	0,79

Sauf pour les stations de Saint-Thiébault et de Soulosse, les coefficients d'écoulement varient peu, malgré des dif-

férences importantes dans la perméabilité des bassins versants. Mais il est essentiel de remarquer que le sol avait été saturé d'eau par des pluies antérieures; et l'on sait que les terrains perméables, lorsqu'ils sont saturés d'eau, ne diffèrent pas sensiblement des terrains imperméables au point de vue de l'écoulement des eaux.

Résumé.

On dispose pour la Meuse d'un ensemble de documents très important; mais, pour les stations où le régime de la rivière a été gravement modifié, les courbes de débit rectifiées par aperçu ne présentent pas, à beaucoup près, les mêmes garanties d'exactitude que les courbes primitives déduites d'expériences directes. Il serait donc utile de contrôler ces courbes par de nouveaux jaugeages.

BASSIN DE LA MOSELLE.

Principaux résultats obtenus.

Les jaugeages ont été peu nombreux dans le bassin de la Moselle. Il n'a été fait, notamment, aucune détermination de débit en aval du confluent de la Meurthe.

Moselle à Toul. — M. Roth, Conducteur faisant fonctions d'Ingénieur à Toul, a effectué sur la Moselle, à Pont-Saint-Vincent, au moyen de flotteurs, cinq jaugeages qui ont donné les résultats suivants:

Hauteurs à l'échelle de Toul................	— 0,27	0,76	0,96	1,12	2,52
Débits correspondants......................	13	86	112	156	450

Un jaugeage fait au moment des basses eaux, en 1884, au moyen des orifices des turbines de Pierre-la-Treiche, a donné 8 mètres cubes, la Moselle marquant à l'échelle de Toul la cote — $0^m,40$, au-dessous de laquelle elle descend rarement. Enfin M. Roth évalue à 7 ou 800 mètres cubes le débit de la plus grande crue du siècle, celle du 23 octobre 1880, qui a atteint la cote $3^m,25$.

Au moyen de ces données, M. Roth a tracé une courbe que les Ingénieurs du canal de la Marne au Rhin considèrent comme représentant bien les débits de la Moselle. Cette courbe est assez irrégulière, mais la parabole représentée par l'équation :

$$Q = 8 + 20\,(H + 0{,}40) + 45\,(H + 0{,}40)^2$$

s'en éloigne assez peu et passe surtout très près des points déterminés par des jaugeages directs.

Moselle à Épinal et Remiremont. — A Épinal, M. Denys a calculé les débits de la Moselle, en appliquant au barrage du Champ du Pin la formule des déversoirs :

$$Q = 0{,}40Lh\,\sqrt{2gh};$$

puis il a établi une courbe qui donne la relation entre la hauteur h au barrage, et la hauteur H à l'échelle hydrométrique du grand pont d'Épinal. Il a ainsi obtenu une courbe donnant les débits en fonction de la hauteur H ; mais il a fait remarquer :

1° Que la courbe qui donne la relation entre h et H est très mal déterminée pour les valeurs de H inférieures à 1 mètre et qu'il en est ainsi, par conséquent, de la courbe des débits ;

2° Que le coefficient 0,40, ordinairement employé pour l'application de la formule des déversoirs, est cer-

tainement beaucoup trop faible, lorsqu'il s'agit d'un grand barrage en rivière où la contraction latérale est nulle, où la charge est très faible par rapport à la longueur et où la vitesse dans le bassin d'amont reste sensible. Il admet donc que l'échelle des débits est, en réalité, indéterminée.

Deux jaugeages faits au moyen de bâtons lestés en aval du grand pont d'Épinal, pour des hauteurs de $1^m,25$ et de $1^m,75$ à l'échelle, lui ont donné 165 mètres cubes et 235 mètres cubes, ce qui conduirait à substituer au cofficient 0,40 dans la formule du déversoir, le coefficient 0,624 dans le premier cas, et le coefficient 0,684 dans le deuxième cas ; soit, en moyenne, 0,654. En adoptant ce dernier coefficient, la courbe des débits entre 1 mètre et 2 mètres serait représentée par la formule linéaire :

$$Q = 53 + 230 (H - 1).$$

Cette formule ne peut être appliquée au-delà de 2 mètres. Pour $H = 2^m,20$, un jaugeage direct a donné 396 mètres cubes. La formule donnerait seulement 329 mètres cubes.

Pour les hauteurs comprises entre $0^m,40$ et 1 mètre, M. le Conducteur Garnier a établi un barême au moyen de six jaugeages directs :

Hauteurs au grand pont d'Épinal.	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Débits	12	16	22	31	39	47	59

M. Denys a également obtenu la courbe des débits de la Moselle à Remiremont, d'abord par rapport à la hauteur au déversoir de Saint-Etienne, puis par rapport à la hauteur à l'échelle du pont Leprieur; mais on n'a fait, à Remire-

mont, aucun jaugeage direct, et on s'est borné à introduire dans la formule des déversoirs le coefficient 0,654, donné par les expériences d'Épinal.

Enfin, en relevant les hauteurs atteintes par un certain nombre de crues à Remiremont et à Épinal, et en mesurant sur la courbe des débits les débits maxima de ces crues, M. Denys a obtenu la formule suivante :

$$Q^{\text{Épinal}} = Q^{\text{Remiremont}} \times 1,27 - 28.$$

Il en résulte que, pour les crues de moins de 100 mètres cubes, le débit maximum est plus grand à Remiremont qu'à Épinal. Le débit maximum s'atténue donc en descendant la vallée. C'est là un phénomène dont nous retrouverons d'autres exemples, notamment à propos de la Loire.

Meurthe. — Il a été fait aux diverses usines de la Meurthe, de nombreuses déterminations de débit ; mais ces jaugeages, faits d'habitude en mesurant sur les barrages la hauteur de la lame déversante, concordent généralement fort mal et ne présentent aucune garantie d'exactitude. C'est pourquoi nous nous bornerons à citer les résultats relatifs à Tomblaine, près Nancy, où les expériences paraissent avoir été faites avec plus de soin et ont été rapportées à une échelle hydrométrique : celle du pont de Malzéville.

Ces expériences, faites entre — 0,65 (cote des plus basses eaux) et 0,90, nous ont conduit à adopter la formule :

$$Q = 4,2 + 44\,(H + 0,65) + 12\,(H + 0,65)^2.$$

Le débit à l'étiage $4^{mc},2$ résulte de trois expériences assez concordantes, faites les 11 et 14 août 1876, l'une avec le moulinet de Woltmann, et les deux autres au moyen

des vannes motrices des moulins de Nancy; à ce moment, l'écoulement était très régulier.

Au-delà de 1 mètre, les Ingénieurs du canal de la Marne au Rhin admettent la corrélation suivante entre les hauteurs et les débits :

Hauteurs à Malzéville................	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,17
Débits correspondants................	108	148	200	314	500	600

La cote 3,17 correspond au maximum de la grande crue du 23 octobre 1880. Le débit correspondant, 600 mètres cubes, résulte d'un jaugeage direct.

La formule que nous avons donnée ci-dessus concorde bien avec ce barême jusqu'à la cote 2 mètres; au-dessus de cette cote, il faut ajouter le terme complémentaire $200\ (H-2)^2$.

En terminant, nous tenons à mettre en lumière deux résultats importants, qui présentent d'assez grandes garanties d'exactitude; ce sont: les débits d'étiage de la Moselle, à Toul, et de la Meurthe, à Nancy; ces débits d'étiage sont, d'après ce qui précède :

8 mètres cubes pour la Moselle, à Toul;

4^{mc},2 pour la Meurthe, à Nancy.

Résumé.

Il y aurait beaucoup à faire dans le bassin de la Moselle pour arriver à une connaissance satisfaisante du régime des rivières. Il serait particulièrement intéressant de faire des jaugeages suivis en aval du confluent de la Meurthe et de poursuivre les jaugeages entrepris sur la Moselle à Epinal, et sur la Meurthe, près de Nancy.

BASSINS AU NORD DU BASSIN DE LA SEINE.

Principaux résultats obtenus.

Bassin de l'Escaut. — D'après les Ingénieurs de la navigation de l'Escaut, le débit à l'étiage de ce fleuve serait :

En aval de Condé....	$10^{mc},75$	Ces débits auraient été réduits des deux tiers pendant les grandes sécheresses de 1857-1859.
En amont de Condé..	9^{mc}	
A Valenciennes......	$7^{mc},25$	

Les grandes crues débiteraient :

En aval de Condé.......	125 mètres cubes
A Valenciennes.........	60 —

La Lys a été jaugée pendant l'été très sec de 1887 ; on a trouvé pour le débit minimum :

A Bac-Saint-Maur, en aval du confluent de la Lawe....	$1^{mc},600$
Aire..	$1^{mc},081$

M. le Sous-Ingénieur Lefoul a jaugé la Lys pendant la crue du 11 février 1883, un peu supérieure aux crues moyennes (cote, 20 mètres du nivellement général de la France, en amont du bassin d'Aire), au moyen des vannages d'usines. Il a trouvé 33 mètres cubes.

La Deûle a fait l'objet de plusieurs jaugeages pendant des périodes de sécheresse. On a trouvé pour les débits minima :

A Wambrechies.....	$3^{mc},657$	Été de 1887
La Barre (Lille)....	$3^{mc},000$	
Don..............	$2^{mc},370$	
Béthune..........	$0^{mc},747$	Septembre 1889
—	$0^{mc},224$	Août 1874.

Liane. — La Liane a été jaugée à plusieurs reprises au moyen des vannages des usines.

Ces jaugeages ont donné pour la section d'aval, entre Hesdigneul et Boulogne :

Grandes crues..........	382^{mc},00
Eaux ordinaires........	1^{mc},130
Étiage..................	1^{mc},071
Sécheresses de 1874....	0^{mc},946

M. l'Ingénieur Voisin a obtenu, dans la même section, au moyen de flotteurs, les chiffres suivants :

Crue atteignant la cote		7,64	du nivellement général...	104^{mc},00
Crue	—	6,87	—	50^{mc},00
Eaux ordinaires	—	6,37	—	1^{mc},00

M. Voisin estime que les plus grandes crues (cote 9,67) peuvent débiter 400 mètres cubes environ.

La Canche a fait, comme la Liane, l'objet de jaugeages nombreux effectués au moyen des vannes des usines. Le débit minimum relevé, en 1874, près de Montreuil, est de 4^{mc},745.

Somme. — Les jaugeages faits sur la Somme sont peu nombreux ; mais ils présentent, néanmoins, un assez grand intérêt, en raison du régime exceptionnellement tranquille de cette rivière.

Le premier a été fait à Abbeville, le 25 mars 1873 (cote à l'aval de l'écluse de Pont-Remy : 2^{m},90). On a relevé deux profils espacés de 1.000 mètres ; puis on a déterminé le débit par trois procédés :

1° Au moyen de la formule $RI = AU^2$, dans laquelle on a pris pour A la valeur $0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$, applicable aux parois en terre plus ou moins garnies d'herbes.

On a obtenu ainsi un débit de $74^{mc},573$;

2° Au moyen de flotteurs, en mesurant la vitesse superficielle *au milieu de la rivière*, et en prenant pour vitesse moyenne les $\frac{4}{5}$ de la vitesse ainsi observée : on a trouvé, par ce procédé, $73^{mc},347$;

3° En relevant directement, au moulinet de Woltmann, la vitesse à la surface, au fond, et à mi-profondeur, sur des verticales espacées de 2 mètres en 2 mètres : on a trouvé, par ce procédé, $59^{mc},18$.

Nous devons signaler ici une application inexacte de la forme usuelle $U = \frac{4}{5} V$, dans laquelle V désigne la vitesse moyenne de superficie, et non la vitesse maximum. Si nous admettons que la vitesse moyenne de superficie était les $\frac{4}{5}$ de la vitesse maximum (ce que confirme l'examen des vitesses de superficie obtenues par le moulinet), nous retombons sur le chiffre que donne le troisième procédé. Nous pouvons donc admettre que le débit réel était voisin de 60 mètres cubes.

Deux autres jaugeages ont été faits au même point pendant la saison sèche de 1874 (cote à l'écluse de Pont-Remy : 1,80) ; mais seulement par l'application de la formule de M. Bazin. Ils ont donné pour résultat 33 et 35 mètres cubes, soit en moyenne 34 mètres cubes.

Il est regrettable qu'on n'ait pas procédé à une mesure directe des vitesses. Néanmoins, comme dans le jaugeage de 1873, la formule de M. Bazin a donné un résultat supérieur de $\frac{1}{5}$ seulement à l'observation directe, on peut admettre avec vraisemblance qu'on aura le débit de 1874, avec une approximation suffisante, en réduisant dans la même proportion le chiffre obtenu. Ce débit aurait donc été voisin de 27 mètres cubes.

Enfin un jaugeage fait en eaux moyennes (cote à Pont-Remy : $2^{m},10$), en août 1888, au moyen de flotteurs, a donné 42 mètres cubes.

La Somme n'a pas atteint, à l'aval de Pont-Remy, depuis une longue période, de hauteurs supérieures à 2,90, ni inférieures à 1,80 ; il résulte donc des chiffres précités que le volume débité par les plus grandes crues n'est guère supérieur au double du volume minimum. C'est là un résultat tout à fait exceptionnel, dû à l'extrême perméabilité du bassin de la Somme.

Résumé.

Dans toute cette région on paraît s'être assez peu préoccupé de déterminer le débit des rivières, dont plusieurs ont cependant une réelle importance. Pour aucune station on n'a fait de déterminations suivies, et les jaugeages directs sont fort peu nombreux.

Il serait surtout intéressant d'avoir des données sérieuses sur le régime de l'Escaut et de ses deux principaux affluents : la Lys et la Scarpe. Pour la Liane, dont les crues très rapides intéressent la ville de Boulogne, il serait utile de poursuivre les jaugeages déjà entrepris.

BASSINS COMPRIS ENTRE LA SEINE ET LA LOIRE.

Principaux résultats obtenus.

Expériences de M. de la Tournerie. — Il est essentiel de mettre tout d'abord en lumière les résultats des expériences entreprises dans le département de l'Orne en 1875, sur l'ordre de M. de la Tournerie, alors Ingénieur en chef du département, et poursuivies depuis d'une manière continue. Ces jaugeages s'appliquent à des

rivières comprises dans des bassins différents (bassin de la Seine, bassin de la Loire, petits bassins indépendants tributaires de la Manche) ; mais il nous a paru préférable de les réunir dans notre compte rendu, parce qu'ils ont été faits d'après un programme unique et qu'on a eu en vue, moins de déterminer le régime particulier de telle ou telle rivière, que de se rendre compte du régime hydrologique de l'ensemble du département.

Le département de l'Orne offre, d'ailleurs, cette particularité, qu'il contient la source de tous les cours d'eau qui l'arrosent ; de sorte que, pour connaître le volume total débité par les cours d'eau, il suffit de les jauger en un point voisin de celui où ils sortent du département.

Depuis 1875, ces jaugeages sont faits régulièrement deux fois par mois, au moyen des ouvrages régulateurs et des vannes motrices des usines ; on choisit d'ailleurs, autant que possible, le moment du débit minimum et du débit maximum.

Les débits moyens mensuels sont réunis chaque année dans un tableau qui figure dans la publication intitulée : *Notice sur les travaux de la Commission scientifique de l'Orne*. Nous donnons, à titre d'exemple, un extrait du tableau de l'année 1885, en indiquant seulement le débit moyen de l'année, mais en groupant les rivières d'après la constitution géologique du bassin et en faisant ressortir les débits par hectare de bassin versant.

DÉSIGNATION des cours d'eau	SUPERFICIE des bassins en hectares	CONSTITUTION GÉOLOGIQUE	DÉBITS moyens de l'ann. 1885	DÉBIT moyen par hectare
			m.c.	
Le Noireau........	15.255	Terrain primitif et de transition, imperméable.	3,702	0lit,24
La Vère...........	12.774	Imperméable.	2,257	0 ,18
La Rouvre.........	33.786	id.	6,337	0 ,19
La Mayenne.......	52.774	Terrain primitif et de transition, imperméable.	7,922	0 ,15
La Varenne.......	60.924	id.	10,963	0 ,18
La Briante........	4.526	id.	0,570	0 ,13
Le Sarthon........	13.658	id.	1,479	0 ,11
Totaux et moyennes pour les terrains imperméables.........	193.697		33,230	0 ,17
L'Orne............	116.275	Oolithe; Terrain primitif et de transition, très peu perméable.	18,663	0 ,16
La Sarthe.........	71.995	Oolithe et terrain crétacé, très peu perméable.	3,719	0 ,05
Totaux et moyennes pour les terrains très peu perméables.....	188.270		22,382	0 ,12
La Dives..........	22.287	Oolithe, sol perméable.	1,244	0 ,06
La Vie............	12.982	Oolithe et terrain crétacé, sol demi-perméable.	0,812	0 ,07
La Charentonne....	9.782	Base des terrains tertiaires, sol perméable.	0,942	0 ,10
La Rille...........	23.245	Base des terrains tertiaires et terrain crétacé, sol très perméable.	1,649	0 ,07
L'Iton.............	16.479	id.	0,772	0 ,05
L'Avre............	8.414	id. demi-perméable.	0,212	0 ,03
L'Huisne..........	69.709	Terrain crétacé, perméable.	3,439	0 ,05
L'Erre............	10.624	id.	0,435	0 ,04
La Rouge.........	2.267	id.	0,027	0 ,01
La Même..........	16.602	Oolithe et terrain crétacé, demi-perméable.	0,593	0 ,04
Les Ormes.........	6.516	id.	0,326	0 ,05
Totaux et moyennes pour les terrains demi-perméables ou perméables............	198.907		10,451	0 ,05
Totaux pour l'ensemble du départem..	580.874		66mc,063	0lit,11

De plus, comme des udomètres répartis sur tout le département permettent d'apprécier la quantité moyenne de pluie tombée, on peut déterminer pour chaque mois le coefficient d'écoulement moyen des terrains du département. Les chiffres ci-dessous s'appliquent à la moyenne des années 1875 à 1885.

MOIS	JANV.	FÉV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT
Débits des cours d'eau (millions de m.c.).	272	327	264	208	130	101	74	58
Pluie tombée (millions de m. c.).....	371	392	356	399	366	465	415	482
Coefficient d'écoulement............	0.73	0,83	0,75	0,52	0,36	0,22	0,17	0,12

MOIS	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.	SAISON chaude mai à oct.	SAISON froide nov. à avril	ANNÉE entière
Débits des cours d'eau (millions de m.c.).	76	114	260	332	553	1.663	2.216
Pluie tombée (millions de m. c.).....	473	548	589	468	2.749	2.575	5.324
Coefficient d'écoulement............	0,16	0,21	0,44	0,71	0,20	0,64	0,41

La quantité de pluie qui tombe en moyenne dans un mois donné n'est pas extrêmement variable avec l'époque de l'année, puisqu'elle ne varie que de 356 millions de mètres cubes (mars) à 589 millions (novembre); de plus, aucune loi bien apparente ne préside à cette variation.

Au contraire, pour le débit des cours d'eau il y a, en août, un minimum bien caractérisé qui ne dépasse guère le sixième du maximum (décembre). Le débit croît d'une manière continue d'août en décembre, décroît en janvier pour atteindre un nouveau maximum en février et décroître ensuite régulièrement jusqu'en août.

La valeur relativement élevée du coefficient d'écoulement moyen vient de la proportion très forte $\left(\frac{2}{3}\text{ environ}\right)$ des terrains imperméables ou très peu perméables.

En dehors des belles expériences dont nous venons de

rendre compte, il n'y a que peu de chose à signaler dans la région qui nous occupe.

Touques et Orne. — La Touques a été jaugée à Lisieux, pendant l'inondation du 28 janvier 1881.

Cette rivière est formée par la réunion de la rivière de Gacé et de la rivière d'Orbec, auxquelles il faut ajouter, en temps de crue, le ruisseau Graindin, qui écoule à la rivière de Gacé les eaux débordées de l'Orbec. On a trouvé au moyen de flotteurs :

Rivière de Gacé....................	56^{mc},644
Rivière d'Orbec....................	16 ,477
Ruisseau Graindin.................	14 ,300
Soit pour la rivière de Touques....	87 ,421

Seize jaugeages ont été faits sur l'Orne, à Caen, au moyen de flotteurs, de juillet 1874 à mars 1875. Malheureusement aucune hauteur n'a été relevée, ce qui enlève à ces expériences presque tout leur intérêt. Le débit minimum (en faisant abstraction d'un jaugeage où le vent contrariait la marche des flotteurs) a été obtenu le 5 septembre 1874 : il était de 2^{mc},078. Comme l'automne de 1874 a été très sec, on peut admettre que le débit d'étiage est voisin de 2 mètres cubes.

La plus grande crue connue de l'Orne est celle de 1852 ; elle a dépassé d'environ 0^{m},40 celle du 21 décembre 1880, qui a atteint à l'échelle hydrométrique du pont de Landelle (*) la cote 3,77. La crue d'octobre 1880, presque aussi forte que celle du mois de décembre, a été jaugée à Caen au moyen de flotteurs, mais seulement le lendemain du maximum, alors que la rivière avait déjà baissé de 0,33. On a trouvé 250 mètres cubes.

(*) Cote des plus basses eaux à l'échelle du pont de Landelle : 0^{m},10.

Le 7 avril 1879, l'eau atteignant à l'échelle du pont de Landelle la cote 1m,88, qui peut être considérée comme la cote de submersion, on a fait à deux usines voisines, au moyen des ouvrages régulateurs, deux jaugeages simultanés, qui ont donné pour résultats 95 mètres cubes et 88 mètres cubes, soit en moyenne 91 mètres cubes.

Rivières de Bretagne. — L'Aulne, à Châteaulin, passe tout entière sur un déversoir, ce qui permet d'évaluer assez exactement le débit de cette rivière qui atteint :

Dans les plus basses eaux	0mc,117
Dans les eaux moyennes........	7 ,488
Dans les crues ordinaires........	106 ,630
Dans la grande crue de 1882.....	550 ,000 (2m,35 au-dessus de la crête du déversoir).

Les Ingénieurs du canal de Nantes à Brest ont déterminé de même, au moyen de la formule du déversoir, les débits du Blavet à Polhuern (limite du jeu des marées) et de l'Oust à Limure. Ils ont trouvé pour le Blavet :

A l'étiage (hauteur à l'échelle : 0,16).................	10mc,20
Pour la hauteur de 0m,2 (haut. moy. de 1860 à 1869)..	19 ,89
Pour la haut. de 1,22 (haut. moy. des crues de 1846 à 1883).	379 ,00

et pour l'Oust :

A l'étiage..................................	1mc,366
En eaux moyennes..........................	14 ,330
Pour une crue de 1m,80 au-dessus de l'étiage artificiel (moyenne des grandes crues).......	540mc,00

Vilaine et Ille. — Nous terminerons par les observations relatives à la Vilaine et à son affluent le plus important, l'Ille.

M. l'Ingénieur en chef Eon Duval, en se basant

sur la section moyenne d'écoulement et la pente superficielle, a évalué le débit des grandes crues de la Vilaine, à Redon, à 250 mètres cubes, et à Mâlon (37 kilomètres en amont), à 330 mètres cubes. Il expliquait cette diminution de débit, malgré l'apport des affluents, par l'existence aux abords de Redon d'une vaste plaine submersible.

A Rennes, M. Jourjon a déterminé, au moyen de flotteurs, les débits de diverses crues de la Vilaine et de l'Ille, et notamment de la plus grande crue connue (29 janvier 1881). Il a obtenu les chiffres suivants :

DÉSIGNATION de la rivière	DATE DE LA CRUE	HAUTEUR au-dessus de l'étiage	DÉBIT	OBSERVATIONS
		m.	m. c.	
Vilaine	23 octobre 1879	2,12	124	
id.	22 décembre 1880	1,27	88	
id.	29 janvier 1881	2,53	180	
Ille	23 octobre 1879	1,42	66	
id.	22 décembre 1880	0,55	39	
id.	29 janvier 1881	1,70	94	Ce chiffre n'a pas été déterminé directement. Il résulte d'une proportion avec les débits de la Vilaine : $94 = 66 \times \frac{180}{124}$.

M. Lechalas a déterminé le débit d'étiage de la Vilaine, à Mâlon, du 29 septembre au 12 octobre 1875, au moyen du barrage qui fonctionnait comme un simple déversoir. Il a trouvé 2^{mc},106.

A la même époque, il a obtenu à Rennes, au moyen des vannes motrices du moulin de Saint-Hélier (en amont du confluent de l'Ille), un débit de 0^{mc},286. M. l'Ingénieur en chef Rousseau estime qu'eu égard aux pertes, ce débit peut être porté à 0^{mc},300 et qu'il représente le débit minimum de la Vilaine.

Quelques jaugeages ont été faits sur la Vilaine supé-

rieure ; mais ces résultats, ne correspondant ni aux plus basses eaux ni aux grandes crues, présentent beaucoup moins d'intérêt que les précédents, et nous nous abstiendrons de les citer ici.

Résumé.

En dehors du département de l'Orne, il a été fait peu de chose dans la région comprise entre les bassins de la Seine et de la Loire. Il y a pourtant, dans cette région, des rivières d'une certaine importance, pour lesquelles il serait utile de connaître les débits correspondant aux différentes hauteurs, et notamment l'Orne et la Vilaine, pour lesquelles on ne possède que des données insuffisantes.

BASSIN DE LA LOIRE.

Débits des grandes crues.

Parmi les documents relatifs au bassin de la Loire, il convient de mettre tout d'abord en lumière les études entreprises à la suite des inondations de 1856, par M. Sainjon, sous la direction de M. Comoy, sur les débits de la Loire et de ses principaux affluents pendant les grandes crues d'inondation.

Nous allons d'abord rappeler sommairement le principe de la méthode :

Supposons que l'eau s'écoule d'un mouvement permanent dans un lit rectangulaire de largeur l, présentant une pente i par mètre courant ; le débit Q est relié à la hauteur h par l'équation connue :

$$Q = lh\sqrt{\frac{lhi}{b_1\,(l + 2h)}}$$

dans laquelle b_1 est un coefficient constant.

Si la largeur l est très grande par rapport à la hauteur, ainsi que cela a toujours lieu sur les grands fleuves, cette formule peut prendre la forme :

$$Q = mh^{\frac{3}{2}},$$

m représentant un coefficient constant pour chaque station considérée.

Mais, pendant les crues, le mouvement n'est plus permanent et, en dehors du maximum, la formule n'a plus aucune valeur théorique. On peut cependant chercher encore à l'utiliser, à titre de formule empirique, c'est-à-dire chercher si on peut déterminer un coefficient m de telle sorte que la formule $Q = mh^{\frac{3}{2}}$ représente d'une manière satisfaisante la variation du débit, soit pendant la durée d'une crue, soit même pendant les diverses crues qui se produisent au même point.

M. Sainjon a d'abord porté ses études sur la section de la Loire comprise entre le Bec d'Allier et l'embouchure du Cher où, sur une longueur de plus de 300 kilomètres, le fleuve ne reçoit aucun affluent important, et il a déterminé les coefficients m au moyen des deux observations suivantes :

1° La portée totale de la crue reste constante sur tout le parcours considéré ;

2° Si on considère deux stations voisines : l'une A en amont, l'autre B en aval, la portée de la crue pendant une période déterminée, vingt-quatre heures par exemple, ne sera généralement pas la même en A qu'en B : elle sera supérieure en A pendant la période de croissance et en B pendant la période de décroissance, et la différence sera justement égale au volume emmagasiné dans le fleuve, entre A et B pendant les vingt-quatre heures, s'il s'agit d'une période de croissance, ou qui se sera vidé pendant le

même temps, s'il s'agit d'une période de décroissance.

Ce volume peut toujours être calculé avec une approximation suffisante au moyen d'observations faites aux échelles et de profils en travers levés sur le fleuve ; et on a l'avantage d'introduire dans les calculs un terme qui ne dépend pas de l'hypothèse faite sur la forme de l'équation qui exprime le débit en fonction de la hauteur.

On conçoit dès lors facilement que, si on observe régulièrement, toutes les heures par exemple, les hauteurs du fleuve à deux stations voisines A et B, on peut calculer la portée de la crue en A et B, pendant une période quelconque en fonction des deux coefficients m et m' relatifs à ces stations. Les deux remarques que nous venons de faire donneront donc, entre les deux coefficients à déterminer, m et m', deux équations du premier degré qui permettront de les déterminer simultanément. Nous en donnons, dans une note annexe (page 86) un exemple numérique.

La première remarque ne fournit pour chaque crue qu'une seule équation, puisque les termes de cette équation représentent la portée totale de la crue ; mais la seconde en fournit autant qu'on le veut, puisqu'on peut fixer arbitrairement l'origine et la fin de la période considérée. M. Sainjon a montré que les coefficients m et m' restaient toujours à peu près les mêmes, et cette vérification essentielle justifie l'hypothèse qu'il a faite sur la forme de la courbe des débits.

Le coefficient m, une fois déterminé pour deux stations, l'équation qui exprime l'égalité des portées totales permet de déterminer le coefficient m afférent à une autre station quelconque.

Si un affluent arrive entre les deux points du fleuve que l'on considère, la portée totale de l'affluent est égale à la différence des portées totales du fleuve en amont et en aval. Mais, comme la crue de l'affluent est

généralement en avance sur celle du fleuve, il faut avoir soin de prendre les portées depuis le commencement de la crue de l'affluent jusqu'à la fin de la crue du fleuve.

M. Sainjon a ainsi déterminé les courbes des débits pour les principales échelles de la Loire et pour l'une des dernières échelles de chacun des affluents. Il s'est servi principalement des données que lui fournissaient les observations faites pendant la crue de 1856 ; mais ces formules ont subi, lors des crues suivantes, notamment en 1866 et en 1872, des vérifications qui montrent qu'elles rendent compte d'une façon très satisfaisante de la marche du phénomène.

Il est cependant utile de faire remarquer qu'on ne peut, en toute rigueur, exprimer le débit en fonction de la hauteur seule, puisque, pour une même hauteur, le débit est certainement plus fort pendant la période de croissance que pendant la période de décroissance. Une équation de la forme $Q = f(h)$ ne peut, théoriquement, être exacte que si on l'applique exclusivement au moment où le fleuve est étale.

Enfin les formules de M. Sainjon ne sont applicables qu'en cas de grandes crues. Les Ingénieurs de la navigation de la Loire estiment qu'au-dessous de la cote 3 mètres à l'échelle d'Orléans elles ne sont plus très exactes, et qu'au-dessous de 2 mètres elles doivent être complètement abandonnées.

Donnons maintenant quelques-uns des résultats obtenus par la méthode de M. Sainjon.

Un peu en amont du Bec d'Allier, le débit maximum de la Loire, en 1856, a été de 4.300 mètres cubes, et celui de l'Allier de 4.700 mètres cubes. Les deux crues ayant, d'ailleurs, coïncidé au confluent, le débit maximum de la Loire en aval du Bec d'Allier a été de 9.000 mètres cubes.

A partir du Bec d'Allier et en descendant vers l'aval,

le débit maximum s'est progressivement atténué, et cette atténuation tient surtout à la rupture des digues qui protègent les vals. On sait que ces digues rattachées aux coteaux par l'amont sont, au contraire, ouvertes à l'aval. Lors donc qu'une digue se rompt (et toutes les digues en aval du Bec d'Allier ont été rompues en 1856), une partie des eaux passe par le fleuve, et l'autre par le val ; on a ainsi deux cours d'eau coulant côte à côte et qui se réunissent à l'extrémité inférieure du val.

Les eaux marchant naturellement avec plus de vitesse dans le fleuve proprement dit, le débit maximum de la crue se produit à une époque postérieure au maximum de la crue dans le fleuve. D'autre part, si la brèche ne s'ouvre que peu de temps avant le maximum, il se produit dans le val un emmagasinement d'eau considérable.

Après la réunion, il se produit quelque chose d'analogue à ce qui se passe à un confluent lorsque les crues du fleuve et de l'affluent ne coïncident pas. Le débit maximum est souvent bien inférieur à la somme des débits maxima du fleuve et de l'affluent. De même, à l'extrémité inférieure des vals, le flot qui s'écoule par le fleuve proprement dit passe d'abord ; l'eau du val n'arrive qu'ensuite, et le débit maximum s'en trouve très sensiblement atténué.

Les chiffres donnés par M. Sainjon pour la crue de 1856 mettent bien en évidence ces conclusions. Entre le Bec d'Allier et Briare il n'y a que des vals peu importants, et les digues se sont rompues bien avant le maximum de la crue. Aussi le débit maximum, qui était de 9.000 mètres cubes au Bec d'Allier, est-il encore de 8.865 mètres cubes à Briare ; la réduction n'est que de 135 mètres cubes pour 92 kilomètres de longueur.

A la fin du val d'Orléans, le débit maximum n'était plus que de 7.281 mètres cubes ; l'atténuation pour une même longueur est de 1.584 mètres cubes. A Veuves, le débit maximum a été de 6.962 mètres cubes ; à Vouvray, de

6.790 mètres cubes, et en amont de l'embouchure du Cher de 6.300 mètres cubes.

Le débit maximum du Cher à son embouchure a été de 1.690 mètres cubes ; mais ce maximum s'est produit vingt et une heures avant l'arrivée du maximum de la Loire ; aussi le débit maximum en aval du confluent n'a-t-il été que de 7.090 mètres cubes, soit 900 mètres cubes de moins que la somme des débits maxima.

A 23 kilomètres en aval du confluent du Cher s'est produite la grande brèche de La Chapelle, et une partie des eaux s'est écoulée par le val de l'Authion, qui a 80 kilomètres de longueur.

Les chiffres donnés par M. Sainjon dans cette région ne comprennent que les débits du fleuve proprement dit ; ils sont donc moins intéressants que les précédents, et nous ne les mentionnerons pas. Nous dirons seulement que le débit maximum de la Vienne à son embouchure a été de 1.680 mètres cubes, ce maximum s'est produit cinquante heures avant celui de la Loire.

Enfin les portées totales de la crue de 1856 auraient été, d'après M. Sainjon,

Loire (en amont du Bec d'Allier),		1.342	millions de m.c.;	cote maxim.	à Nevers.....	6m,13
Allier	—	1.206	—	—	Moulins....	5m,22
Cher	—	519	—	—	Bléré......	5m,95
Indre	—	95	—	—	Châteauroux	2m,15
Vienne	—	654	—	—	Châtellerault	2m,20
					à La Haye-Descartes. (sur la Creuse)	5m,15

En 1846, le débit maximum de la Loire, en amont du Bec d'Allier, a été de 5.200 mètres cubes; celui de l'Allier, 4.600 mètres cubes. A Briare, le débit maximum a été de 9.118 mètres cubes. En aval de Briare, la crue est restée en dessous de celle de 1856.

Si, au lieu d'une grande crue avec rupture des digues, on envisage une crue qui ne produit point de brèches, le débit maximum reste à peu près constant entre le Bec

d'Allier et l'embouchure du Cher. Ainsi, en octobre 1872 (cote maximum à Orléans : $5^m,23$), le débit maximum a été :

A Orléans, de.....	4.228	mètres cubes
Veuves	4.323	—
Tours	4.219	—

Jaugeages en eaux basses et moyennes.

Des jaugeages très nombreux ont été faits sur la Loire par le Service de la 3e section (entre Briare et Nantes), presque toujours au moyen du moulinet de Woltmann. Cependant, en aval du confluent du Cher, les jaugeages n'ont été nulle part assez suivis pour qu'on puisse tracer une courbe des débits présentant quelques garanties d'exactitude : la seule station pour laquelle nous ayons pu tenter d'établir une formule est Nantes, où l'on peut admettre, à titre de première approximation, la formule :

$Q = 140 + 320H + 70H^2$ (H est la haut. à l'échelle de la Bourse) ;

mais les jaugeages n'ont pas dépassé $3^m,15$ et sont compris, sauf trois, entre $1^m,25$ et $2^m,60$ (ils ont été faits entre 1851 et 1854).

Cette formule donne les débits suivants :

Hauteurs...............	0	1^m	2^m	3^m
Débits..................	140	530	1.060	1.730

Entre les confluents du Cher et de l'Allier on rencontre, au contraire, plusieurs stations où les jaugeages permettent de tracer la courbe des débits.

Nous nous bornons à donner les formules relatives à Blois, à Mareau (immédiatement en aval du Loiret) et à

Gien. La hauteur mise en évidence est la hauteur au-dessus de l'étiage de 1865.

Station de Blois : trente jaugeages (entre 1857 et 1870). — Hauteurs à l'échelle de Blois variant de — $0^m,22$ à $3^m,92$:

$$Q = 39 + 110 (H + 0,25) + 135 (H + 0,25)^2.$$

Station de Mareau : trente-cinq jaugeages (entre 1859 et 1866). — Hauteurs à l'échelle de Mareau variant de — $1^m,10$ à $2^m,78$:

$$Q = 32 + 90 (H + 1,10) + 70 (H + 1,10)^2.$$

Station de Gien : trente-six jaugeages (entre 1863 et 1869). — Hauteurs à l'échelle du pont de Gien variant de — $0^m,54$ à $1^m,77$:

$$Q = 23 + 100 (H + 0,56) + 70 (H + 0,56)^2.$$

En amont du Bec d'Allier les jaugeages ont été beaucoup plus rares. Cependant, à Nevers, on peut admettre comme première approximation la formule :

$$Q = 11 + 70 (H + 0,25) + 100 (H + 0,25)^2,$$

H est la hauteur à l'échelle du pont-route de Nevers.

Les jaugeages qui nous ont servi à établir cette formule ont été faits au moyen de flotteurs ; mais aucun n'a été fait entre les cotes $1^m,46$ et $5^m,75$.

Sur aucun affluent il n'a été fait de jaugeages assez suivis pour qu'on puisse chercher à établir une courbe de débits. Le Service de la Navigation de la Loire a fait, au moyen du moulinet, quelques jaugeages sur la Vienne, l'Indre et le Cher près de leur embouchure, mais seulement en eaux basses ; nous en citerons les principaux

résultats à propos des débits d'étiage. Pour l'Allier, les renseignements nous font absolument défaut.

Débits d'étiage.

Les Ingénieurs de la Navigation de la Loire admettent, pour les débits d'étiage du fleuve en aval de Briare, les chiffres suivants :

Entre Nantes et la Maine........	100	mètres cubes
la Maine et la Vienne.....	72	—
la Vienne et l'Indre.......	55	—
l'Indre et le Cher.........	52	—
le Cher et le Beuvron.....	37	—
le Beuvron et Briare......	35	—

Ces chiffres ne représentent pas les plus bas débits observés, mais ils correspondent à des hauteurs au-dessous desquelles la Loire descend rarement.

Toutefois le débit d'étiage subit aux abords d'Orléans une diminution importante, par suite de la dérivation souterraine qui constitue le Loiret. Le cube des eaux ainsi dérivées atteint environ 15 mètres cubes, qui sont restitués à la Loire soit à l'embouchure du Loiret, soit par des sources de fond situées dans la Loire en amont de cette embouchure : les derniers biefs du Loiret sont, en effet, à un niveau supérieur à celui de la Loire (*).

Des chiffres donnés ci-dessus on déduit pour les débits d'étiage des affluents près de leur embouchure :

La Maine...............	28	mètres cubes
La Vienne..............	17	—
L'Indre................	3	—
Le Cher................	15	—
Le Beuvron et le Cosson..	2	—

(*) M. Sainjon, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, juillet 1880.

DÉSIGNATION des cours d'eau	EMPLACEMENT des jaugeages	DATE	ÉCHELLE de comparaison	COTE	DÉBIT	PLUS BASSES EAUX Cote	PLUS BASSES EAUX Date	PROCÉDÉ de jaugeage
					m. c.			
Loire	3 kilom. en aval de Nantes.	3 sept. 1885	La Bourse	— 0,65	125	— 0,97	19 août 1885	Moulinet
Id.	à Ancenis	9 juillet 1870	Ancenis	— 0,30	85,43	· 0,43	28-29 juillet 1870	id.
Id.	en aval de la Vienne	9 juillet 1870	Montsoreau	0,05	65,83	?	?	Flotteurs
Id.	en aval de l'Indre	8 sept. 1859	Port-Boulet	0,22	67,50	— 0,02	4 août 1870	Moulinet
Id.	en amont de l'Indre	11 août 1859	id.	0,26	67,37	id.	id.	id.
Id.	Tours-kil. 444	9 juillet 1870	Pont de Tours	— 0,43	34,65	— 0,52	26 juillet 1870	id.
Id.	Blois-kil. 387	9 juillet 1870	Blois	— 0,22	35,35	— 0,28	6-9 oct. 1870	id.
Id.	en aval du Loiret	6 juillet 1870	Orléans	— 0,81	21,73	— 0,98	26-27 juil. 1870	id.
Id.	Orléans	5 juillet 1870	Orléans	— 0,81	5.59	— 0,98	26-27 juil. 1870	id.
Id.	Bouteille-kil. 289	10 oct. 1865	Bouteille	— 0,43	24,12	?	?	id.
Id.	à Gien-kil. 255	10 oct. 1865	Pont de Gien	— 0,54	24.98	— 0,56	7-8 oct. 1865	id.
Id.	Nevers	31 août 1885	Pont-route de Nevers	— 0,25	10,04	— 0,30	28 août 1885	Flotteurs
Id.	en aval de l'Aron	1859	?	?	12,79	»	»	Moulinet de Woltmann et tube de Pitot
Id.	en amont de l'Aron	id.	?	?	10,61	»	»	id.
Id.	à Digoin en aval de l'Arroux.	21 août 1885	Gilly	— 0,81	6,78	?	?	Flotteurs
Id.	en amont de l'Arroux	1859	?	?	5,91	?	?	Moulinet et tube de Pitot
Id.	à Roanne	1857	?	?	5,05	?	?	Flotteurs
Id.	au Pertuiset	1857	?	?	4,25	?	?	id.
Id.	au pont de Goudet	1857	?	?	1,10	?	?	id.
La Vienne	Embouchure	9 juillet 1870	?	?	14,87	?	?	id.
Id.	Châtellerault	1859	?	?	7,00	?	?	?
Id.	Saint-Junien	18 sept. 1874	?	?	6,953	?	?	Déversoir
Id.	Limoges	9 sept. 1874	?	?	4,610	?	?	Vannes d'usine
Id.	Eymoutiers	24 août 1874	?	?	0,965	?	?	id.
Le Taurion	Embouchure	21 août 1874	?	?	2,243	?	?	Flotteurs
La Creuse	Port-de-Piles	1859	?	?	12,00	?	?	?
La Gartempe	aval du dép. de la Hte-Vienne	24 sept. 1874	?	?	2,60	?	?	Vannes d'usine
Id.	amont id.	21 sept. 1874	?	?	0,53	?	?	id.
L'Indre	Embouchure	11 août. 1859	?	?	2,54	?	?	Moulinet
Id.	Buzançais	1874	?	?	0,712	?	?	Ouvrages régulateurs du Moulin
Le Cher	Embouchure	22 sept. 1857	?	?	9,76	?	?	Moulinet
Id.	Vierzon	1886	Vierzon	— 0,23	2,64	?	?	Tube de Darcy
Id.	Saint-Florent	id.	Saint-Florent	— 0,55	3,159	?	?	Déversoir
Id.	Saint-Amand	1er sept. 1886	Saint-Amand	— 0,07	0,640	?	?	id.
L'Yèvre	Vierzon	1885	?	?	5,18	?	?	Ouvrages régulateurs des usines
Id.	Mehun	id.	?	?	3,45	?	?	id.
La Nièvre	Nevers	1857	?	?	1,82	?	?	Flotteurs
L'Aron	Embouchure	1859	?	?	2,18	?	?	Tube de Pitot
Le Furens	Saint-Etienne	1857	?	?	0,15	?	?	Vannes d'usine
Le Lignon	Embouchure	1857	?	?	2,00	?	?	Flotteurs

Les chiffres les plus bas accusés par les jaugeages sont donnés dans le tableau de la page 51 ci-dessus.

Il a été fait, en outre, en divers points du bassin de la Loire, un assez grand nombre d'évaluations de débit au moyen des formules dites « de Prony » ou « d'Eytelwein », qui expriment le débit en fonction de la pente; mais ces évaluations ne nous paraissent mériter aucune confiance, et nous nous abstenons de les citer.

Résumé.

En résumé, on dispose, pour la Loire proprement dite, surtout en aval du Bec d'Allier, d'un ensemble de documents assez complet. Mais, pour les affluents, même pour les plus importants, on ne connaît que quelques débits d'étiage et les débits des grandes crues près de l'embouchure. Pour le bassin de l'Allier, on ne possède absolument rien, et c'est là une lacune fort regrettable, car l'Allier exerce une influence considérable sur les crues de la Loire.

D'autre part, les jaugeages faits sur la Loire remontent déjà à une époque assez éloignée : ce qui jette de l'incertitude sur la valeur actuelle des formules. Il serait donc désirable, tout en poursuivant les expériences entreprises sur la Loire, notamment en aval de la Vienne et en amont du Bec d'Allier où le régime est moins bien connu, d'instituer des expériences régulières, afin d'arriver à déterminer les courbes de débit des stations les plus importantes des affluents.

BASSIN DE LA GARONNE.

Débit des grandes crues.

Garonne. — La Garonne est un fleuve à crues très violentes, et plusieurs de ces crues, notamment celle de

juin 1875, ont occasionné de véritables désastres. Il serait donc fort intéressant de connaître les débits correspondants; mais, malheureusement, en raison des préoccupations de toute nature qui absorbent alors les ingénieurs et leurs agents, il n'a été fait nulle part aucune détermination directe de la vitesse des eaux. Nous citerons pourtant, faute de mieux, les évaluations dues à différents ingénieurs.

A Agen, on a relevé la section mouillée, et on a décomposé cette section en un certain nombre de parties pour lesquelles on a calculé la vitesse moyenne par la formule de M. Bazin : $V = \sqrt{\frac{1}{b_1}}\sqrt{Ri}$; on est ainsi arrivé à un débit de 12.000 mètres cubes. La cote correspondante à l'échelle d'Agen était $11^m,70$.

A Toulouse, M. Lanteirès a cherché à jauger le débit pour les sections où toute l'eau s'est écoulée (pont d'Empalot et brèches aux abords); il a déduit la vitesse de la hauteur des remous provoqués par l'obstacle. Mais, comme aucune observation n'avait été faite pendant l'inondation, les remous n'ont été mesurés que deux jours après au moyen des laisses de l'eau. M. Lanteirès est arrivé ainsi à un débit maximum de 8.000 mètres cubes (cote à l'embouchure du canal latéral : $8^m,72$).

M. l'Ingénieur en chef directeur Gros pensait que le chiffre de 8.000 mètres cubes était exagéré et que le débit maximum se serait plutôt rapproché de 7.000 mètres cubes. Enfin M. Faraguet pensait que le débit n'avait pas dû dépasser 6.000 mètres cubes.

Mais toutes ces évaluations ne reposent sur rien de précis, et l'on peut dire qu'on en est réduit à des hypothèses sur le débit des grandes crues de la Garonne. Il serait donc très désirable que l'on profitât des occasions qui pourront se présenter pour faire de véritables jaugeages dans lesquels la vitesse de l'eau sera déterminée

directement au moyen du seul procédé qui soit applicable pratiquement en temps de grandes crues, c'est-à-dire au moyen de flotteurs de superficie.

Dordogne. — Pour la Dordogne on ne sait presque rien; cependant le débit de la grande crue de 1783 (12 mètres au-dessus de l'étiage, à Bergerac) a été évalué :

En aval du confluent de l'Isle, à 7 ou	8.000^{mc}	(M. Lancelin)
A Libourne...............	5.650	(MM. Simon et Allard)
Bergerac...............	5.170	—
Limeuil................	4.480	—

Lot. — Parmi les affluents de la Garonne, le Lot est à peu près le seul pour lequel on ait quelques données sur les débits qu'ont pu atteindre les grandes crues. Quand on organisa, en 1858, le service des inondations de la Garonne, M. l'Ingénieur en chef Watier fit exécuter, de 1858 à 1860, sur le Lot et ses affluents, un grand nombre de jaugeages. On déduisait de ces jaugeages les courbes de débit; mais, comme les crues observées n'atteignaient pas la hauteur de celles dont on voulait avoir le débit, on calculait les débits cherchés par la formule :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{h^{\frac{3}{2}}}{h'^{\frac{3}{2}}}$$

Cela revient à admettre que, pour les grandes crues, la courbe des débits est représentée par une équation de la forme $Q = mh^{\frac{3}{2}}$, dans laquelle m représente un coefficient constant pour chaque station. C'est là certainement l'hypothèse la plus plausible qu'on puisse faire, puisque, dans ses études sur les débits des grandes crues de la Loire, M. Sainjon a été amené à admettre une formule de cette

forme et qu'il a pu vérifier que le coefficient m était en effet sensiblement constant. Mais ce n'est, en somme, qu'une hypothèse qui aurait besoin d'être vérifiée par des expériences faites sur le Lot.

Quoi qu'il en soit, voici les chiffres auxquels est arrivé M. Watier. H est la hauteur à l'échelle de Coty, près Cahors.

	CRUE de 1783 H = 9m,03	CRUE de février 1833 H = 7,83	CRUE de juin 1856	CRUE de déc. 1858
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
Pour le Lot, à Villeneuve	»	3.600	2.700	2.380
— Cahors	4.500	3.570	2.950	2.450
— Saint-Laurent-d'Olt	715	»	625	282
Pour la Truyère, à Entraygues	2.300	»	1.600	1.310

Sur le Lot supérieur, la plus forte crue connue a été celle de septembre 1866, qui a atteint 5m,33 à l'échelle de Mende. Le débit correspondant aurait été, d'après M. l'Ingénieur Lefranc de 668 mètres cubes.

Nous devons ajouter que M. Deloche, Ingénieur en chef de la Navigation du Lot, considérait tous ces chiffres comme fort exagérés.

Tarn. — Pour le Tarn, on a un jaugeage direct fait au moyen de flotteurs pendant la crue de 1843. Ce jaugeage a donné un débit de 3.278 mètres cubes ; mais la crue de 1843 n'a atteint que 7m,80 à l'échelle de Montauban, tandis que la plus grande crue connue, celle de 1773, a atteint 10m,10.

Baïse. — Enfin le débit de la Baïse à Condom, pendant la grande crue de janvier 1855, qui a atteint 4m,60 à l'échelle actuelle de Condom, a été évalué à 1.025 mètres cubes par M. l'Ingénieur Ester, qui a mesuré les diverses

sections d'écoulement et la vitesse correspondante. Le même Ingénieur évaluait à 1.200 mètres cubes le débit de la grande crue de 1770.

Courbes de débit.

A un certain nombre de stations on a fait des observations assez suivies pour pouvoir obtenir des courbes de débit.

Garonne. — Nous citerons, tout d'abord, les expériences faites de 1857 à 1860 par M. Fargue et qui lui ont permis d'établir la courbe des débits à Langon et à Castets. Les vitesses étaient mesurées par trois méthodes différentes : flotteurs de superficie, moulinet de Woltmann et tube de Darcy. M. Fargue est arrivé ainsi aux deux formules :

Pour Langon : $Q = 87 + 120H + 42H^2$;
Castets : $Q = 85 + 107H + 38H^2$.

Les expériences n'ont pas porté sur des hauteurs supérieures à 7m,50 ; le débit correspondant était d'environ 3.000 mètres cubes. Les Ingénieurs de la Garonne croient qu'au-dessus de cette limite la loi du débit des grandes crues serait mieux représentée par une formule de la forme $Q = mh^{\frac{3}{2}}$.

Dans cette hypothèse, et en partant des débits déterminés expérimentalement à Langon pour les cotes 6,57 et 7,52, on arriverait à trouver, pour le débit de la crue de 1875, environ 6.000 mètres cubes. On voit combien on est loin du chiffre de 12.000 mètres cubes, indiqué pour Agen, bien que la Garonne reçoive dans l'intervalle l'apport du Lot, et cela nous confirme dans l'opinion qu'on ne sait, en réalité, absolument rien sur les débits des grandes crues de la Garonne.

M. Fargue a aussi calculé, au moyen de ses observations le débit moyen par mois, de 1839 à 1859. La moyenne générale est de 697 mètres cubes (60 millions de mètres cubes en vingt-quatre heures) ; celle des six premiers mois de l'année, 956 mètres cubes (83 millions en vingt-quatre heures); et celle des six derniers mois, 438 mètres cubes (38 millions en vingt-quatre heures).

Malheureusement ces belles observations ne sont plus applicables à l'état actuel du fleuve. Par suite des travaux entrepris pour l'amélioration de la navigation, le niveau de l'étiage s'est considérablement abaissé; cet abaissement a atteint $0^m,874$ à Castets et $1^m,714$ à Caudrot, à 3 kilomètres en amont de Castets. Il serait donc bien désirable que de nouvelles expériences fussent faites.

A Tonneins, M. Baumgarten a fait, de 1837 à 1847, au moyen du moulinet de Woltmann, des jaugeages très soignés. Il a indiqué, pour représenter les résultats, une formule très compliquée (*) que nous proposons de remplacer par la suivante :

$$Q = 20 + 150H + 50H^2,$$

qui donne sensiblement les mêmes débits que celle de M. Baumgarten dans la partie utilisable, c'est-à-dire entre $0^m,60$ et $5^m,35$. Au-dessous de $0^m,60$ cette formule donne des résultats beaucoup trop faibles.

A Agen, M. Schlœsing a fait de nombreuses expériences, au moyen de flotteurs, entre les cotes $0^m,25$ et $5^m,55$ à l'échelle d'Agen. Il en a résumé les résultats dans la formule :

$$Q = 99 + 149H + 57H^2.$$

Il n'y a pas eu, en d'autres points de la Garonne, de déterminations suivies de débit.

(*) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1848, 2e semestre.

Lot. — Sur le Lot, M. Fournié a proposé, pour représenter les résultats des jaugeages faits par lui à Villeneuve au moyen de flotteurs, la courbe :

$$Q = 2.225 \frac{H^{\frac{3}{2}}}{H + 20,50},$$

H étant la hauteur à l'échelle de Villeneuve.

M. Deloche croit que cette formule représente assez bien les débits du Lot : elle donne sensiblement les mêmes résultats que l'ensemble des deux formules suivantes, plus faciles à appliquer :

$$Q = 45 + 120\,(H - 0,50) + 20\,(H - 0,50)^2 \quad \text{de } 0^m,50 \text{ à } 4 \text{ mètres}$$

et :

$$Q = 710 + 260\,(H - 4) \qquad \text{au-dessus de } 4 \text{ mètres.}$$

Pour Cahors, M. Duportal a donné une formule analogue à celle de M. Fournié pour Villeneuve, mais les chiffres auxquels conduit cette formule ne concordent nullement avec les résultats des jaugeages entrepris au moyen de flotteurs pendant la crue de décembre 1858.

Citons encore les formules suivantes, qui représentent les résultats de jaugeages faits au moyen de flotteurs, sous la direction de M. Watier :

Lot à Entraygues, en aval de la Truyère :

$$Q = 350 + 180\,(H - 1^m,90) + 35\,(H - 1^m,90)^2 \text{ entre } 1^m,90 \text{ et } 5^m\,;$$

Lot à Mende :

$$Q = 23H^2, \qquad \text{de } 0^m,40 \text{ à } 5^m,33 \qquad \text{(M. Gros).}$$

Tarn. — Pour le Tarn, à Montauban, M. Bœswilwald a calculé, en 1858, une courbe de débits ; mais il s'est

servi principalement d'évaluations faites au moyen de la formule de Prony, et cette courbe ne concorde pas bien avec les rares jaugeages directs qui ont été faits : elle ne nous paraît donc pas mériter grande confiance (*).

Au pont des Vignes, sur le Tarn supérieur, près de la limite aval du département de la Lozère, M. Watier a fait exécuter des jaugeages par flotteurs qui lui ont permis de tracer la courbe de débits jusqu'à $3^m,67$ et l'a ensuite prolongée jusqu'à 7 mètres au moyen de la formule de Prony. Cette courbe est assez bien représentée par la formule :

$$Q = 5 + 40H + 20H^2.$$

Aveyron. — A Montricoux, sur l'Aveyron, M. Bœswilwald a calculé une courbe de débits par le même procédé que pour le Tarn à Montauban. Mais, comme cette courbe concorde assez bien avec les quelques jaugeages qui ont été faits au moyen de flotteurs, elle mérite plus de confiance, et nous donnons une formule qui peut la représenter :

$$Q = 2 + 50H + 18H^2.$$

Baïse. — Des jaugeages faits, en 1859, au moyen de flotteurs de superficie, ont permis d'établir la courbe des débits de la Baïse à Condom, entre $0^m,40$ et $2^m,76$. Cette courbe peut se représenter par l'équation :

$$Q = 2 + 40\,(H + 0{,}10) + 3\,(H + 0{,}10)^2.$$

En même temps que l'on faisait ces expériences, on relevait la pente de la rivière, et on a cherché à en déduire la vitesse moyenne, au moyen des formules de

(*) La formule qui traduit le mieux les résultats des jaugeages directs (entre $0^m,50$ et 8 mètres) est :

$$Q = 20 + 320\,(H - 0{,}50) + 15\,(H - 0{,}50)^2.$$

Prony. Mais on a toujours trouvé des débits supérieurs d'au moins 50 0/0 aux débits mesurés directement. Cet exemple, que nous avons tenu à citer, montre le peu de confiance que l'on peut avoir dans les chiffres déterminés au moyen des formules qui donnent la vitesse en fonction de la pente.

Gers. — Pour le Gers, à Auch, il a été fait des jaugeages très nombreux: mais on ne peut en déduire la courbe des débits, parce qu'ils sont tous groupés autour de deux cotes: les hauteurs d'eau sont comprises soit entre 1,70 et 1,92, soit entre 3,54 et 3,83.

Débit des basses eaux.

Garonne. — Les débits d'étiage de la Garonne sont évalués aux chiffres suivants :

	DÉBITS	OBSERVATIONS
	m. c.	
A Langon....................	91	Jaugeage fait avec le moulinet en 1874
En aval du confluent du Lot....	75	
A Agen......................	50	
A Toulouse..................	36	
A Muret.....................	23,5	Ce chiffre ne correspond pas aux plus basses eaux, mais à la cote — 0,53 à l'échelle du pont de Muret. — Plus basses eaux ; — 0,90.
A Saint-Martory..............	12	

La plupart de ces chiffres ne résultent pas de jaugeages directs. Ainsi le chiffre de 75 mètres cubes en aval du confluent du Lot correspond au zéro de l'échelle de Tonneins (1870); mais il a été établi, d'après des expériences faites avec des flotteurs en 1857-1858, période pendant laquelle la Garonne n'est pas descendue aussi bas. Le chiffre de 50 mètres cubes pour Agen a été obtenu

en faisant H = — 0,30 dans la formule de M. Schlœsing que nous avons citée plus haut, bien que les expériences n'aient pas porté sur des cotes inférieures à + 0^m,25. Le chiffre de 36 mètres cubes a été donné par MM. Borel et Maitrot de Varenne; mais on ne sait comment il a été établi; le 4 février 1882, les eaux se trouvant à l'échelle de l'embouchure du canal latéral à la cote 0^m,00, c'est-à-dire à 0^m,18 au-dessus des plus basses eaux observées (février 1880), on a trouvé 37^{mc},89 (moulinet de Woltmann). Le chiffre de 12 mètres cubes pour Saint-Martory correspond aux plus basses eaux (— 0,82 à l'échelle du pont de Cazères); il a été déduit par aperçu de trois jaugeages, dont l'un, correspondant à la cote — 0^m,315, a donné 22^{mc},75 (moulinet de Woltmann); un autre, correspondant à la cote — 0,56, a donné 18 mètres cubes (vannes d'usines); et le dernier, correspondant à la cote — 0^m,70, a donné 14 mètres cubes (vannes d'usines).

Dordogne. — Pour la Dordogne, on n'a que des évaluations fort anciennes, et on ne sait pas si ces évaluations reposent sur des expériences précises. Le débit d'étiage serait :

En aval du confluent de l'Isle...........	60^{mc}	(M. Lancelin)
A Libourne.............................	42	(M. Vauthier)
Limeuil, en aval du confluent de la Vézère	36	id.

Lot. — Sur le Lot, il a été procédé, à trois reprises différentes, en 1861, en 1870 et en 1881, à des jaugeages en basses eaux. On opérait soit avec des flotteurs, soit par déversoir, en appliquant la formule $Q = 0,443LH\sqrt{2gH}$, soit en faisant passer tout le débit par les ventelles des écluses et en appliquant la formule $Q = 0,625S\sqrt{2gH}$, soit enfin en ouvrant les pertuis et en appliquant la formule $Q = 1,77lH\sqrt{H}$.

On a trouvé :

En 1861, l'échelle de Coty, près Cahors, marquant 0m,90 :

Arrondissement de Figeac	Pont de la Madeleine.	10mc,24	(Flotteurs)
	Bief d'Arelles.......	9 ,10	—
Arrondissement de Cahors	Bief de Bouziès.....	20 ,28	—
	Bief de Coty........	14 ,01	—
Arrondissement de Villeneuve	Partie amont de....	10 à 12mc	(Flot. et Pertuis)
	Partie aval de.....	8 à 10mc	(Pertuis)

En 1870, l'échelle de Coty marquant 0m,80 (plus basses eaux connues) :

Arrond. de Figeac :	Barrage de Camboulan :	5mc,67	(Déversoir)
— de Cahors :	Barrage des Masséries :	5 ,08	id.

En 1881, l'échelle de Coty marquant 0m,88 :

Arrond. de Figeac :	Capdenac......	6mc,00	Ventelles
	Frontenac.....	6 ,30	id.
	Montbrun......	7 ,47	id.
Arrond. de Cahors :	Saint-Marc.....	9 ,50	Déversoir
	id.	7 ,93	Ventelles
Arrond. de Villeneuve :	La Rougette....	4 ,47	id.
	Le Temple.....	4 ,19	id.

Tous ces résultats ne concordent pas très bien; ils semblent pourtant indiquer que, dans la partie inférieure, le débit d'étiage irait en diminuant de l'amont à l'aval; mais nous devons ajouter que M. Deloche n'admet pas que les pertes puissent compenser, et au delà, l'apport des affluents. M. l'Ingénieur en chef Gros évalue le débit du Lot, en amont de Mende, en temps de sécheresse ordinaire, à 0mc,50.

Tarn. — Pour le Tarn, on n'a presque pas de renseignements. M. Bœswilwald évaluait le débit d'étiage du Tarn, à Montauban, à 20 mètres cubes et, après le confluent de l'Aveyron, à 22^{mc},50. M. l'Ingénieur en chef Gros évalue le débit du Tarn, en amont de Florac, en temps de sécheresse ordinaire, à 1 mètre cube.

Ariège. — Le débit de l'Ariège à son embouchure est d'environ 16 mètres cubes (moulinet de Woltmann), quand les eaux marquent 0^{m},10 à l'échelle de La Croix de Falgarde, soit 0^{m},45 au-dessus des plus basses eaux. Le débit de la même rivière, à Foix, est évalué à 9^{mc},50 ou 10 mètres cubes pour les plus basses eaux (— 0,07 à l'échelle de Foix), d'après les résultats de quatre jaugeages faits au moulinet de Woltmann, entre les cotes — 0,05 et + 0,09.

Neste. — D'après les Ingénieurs du Service hydraulique des Hautes-Pyrénées, le débit de la Neste, pour les plus basses eaux connues (— 0^{m},16 au pont de Sarrancolin), serait de 2^{mc},40.

Baïse. — Le débit d'étiage de la Baïse à Condom, mesuré à plusieurs reprises au moyen des vannes et des déversoirs des moulins, a été trouvé de 1^{mc},50, non compris 0^{mc},50 provenant de la rigole de la Neste.

Save. — Enfin la Save, même en temps de sécheresse ordinaire, ne contient, jusqu'à 6 kilomètres en aval de sa source, que les eaux dérivées de la Neste ; son débit propre n'était, en septembre 1889, que de 260 litres à Saint-Plancard, en amont du confluent de la Gesse, et de 310 litres à Montaigut. D'après M. l'Ingénieur en chef Fontès, son débit, à son embouchure, peut descendre en temps de sécheresse exceptionnelle au-dessous de 200 litres.

Il est à remarquer que toutes les rivières qui descendent des Pyrénées présentent deux époques d'étiage : l'une d'été, du 15 août au 15 septembre; l'autre d'hiver, du 1er janvier au 15 mars.

Résumé.

En résumé, s'il a été fait de nombreuses expériences sur certains cours d'eau dont le débit ne suffit même plus pendant l'étiage aux premiers besoins des habitants, les débits d'étiage de la Garonne et surtout de ses grands affluents ne sont pas très bien connus; les chiffres admis jusqu'à présent auraient besoin d'être vérifiés par de nouvelles expériences.

Pour les grandes crues, on peut dire qu'on ne sait absolument rien et, d'autre part, s'il a été fait, il y a une trentaine d'années, un assez grand nombre d'observations fort intéressantes en vue d'arriver à déterminer pour plusieurs stations les courbes des débits, les ingénieurs paraissent s'être actuellement un peu désintéressés de la question; ce qui est d'autant plus regrettable que sur plusieurs points la modification du régime de la rivière rend les formules anciennes inapplicables.

BASSIN DE L'ADOUR.

Les déterminations de débit ont été peu nombreuses dans le bassin de l'Adour. Ce n'est que pour la Midouze, à Mont-de-Marsan, qu'on dispose d'observations assez suivies pour pouvoir établir une courbe de débits applicable entre 0 et $4^{m},50$; cette courbe peut être représentée par la formule :

$$Q = 6 + 6H + 8H^2.$$

Il a été fait également des jaugeages assez nombreux

sur l'Adour, près de Dax, mais ces jaugeages s'étendent sur une période assez longue pendant laquelle l'endiguement a amené un abaissement du fond du lit; ils n'ont donc plus aujourd'hui grande valeur, nous noterons seulement que le débit le plus faible a été relevé en 1870; il est de 8^{mc},09.

On a évalué le débit de la crue de février 1879, à Dax, à 1.600 mètres cubes, et celui de la crue de 1855, à Saint-Sever, à 900 mètres cubes.

Donnons, enfin, les débits d'étiage des gaves de Pau et d'Oloron, mesurés au moyen de flotteurs.

On a trouvé:

Pour le gave de Pau, à Bétharam	23^{mc}
à Nay	25
à Jurançon	25
avant le confluent avec le Gave d'Oloron	31 ,5
Pour le gave d'Oloron avant le confluent avec le gave de Pau	36

On évalue à 1.200 mètres cubes le débit des gaves réunis pendant la crue de 1886.

BASSIN DU RHONE.

Grandes crues.

Il n'a été fait sur le Rhône aucun jaugeage direct en temps de grande crue. La méthode des flotteurs de surface serait évidemment seule applicable, mais il est facile de se rendre compte des difficultés qu'elle présenterait, quand on pense à la grande largeur du lit et à l'extrême vitesse des eaux, vitesse qui peut atteindre de 4 à 5 mètres.

Évaluations de MM. Belin et Kleitz. — Toutefois, à défaut de déterminations directes, il est intéressant de donner les évaluations faites par MM. Belin et Kleitz, au moyen

des formules de l'hydraulique, à la suite de la grande crue de 1856. Nous allons résumer ici leur travail.

On estime que le Rhône supérieur et les autres rivières qui se jettent dans le lac de Genève peuvent débiter au moment des grandes crues 1.200 mètres cubes par seconde ; mais, en raison de l'immense réservoir formé par le lac, qui peut emmagasiner 54 millions de mètres cubes sans monter de plus de 1 décimètre, le débit du Rhône à la sortie du lac dépasse rarement 400 mètres cubes, et n'a même été que de 325 mètres cubes en 1856. C'est, en réalité, l'Arve, dont le débit maximum, en 1856, a été de 700 mètres cubes et peut atteindre 1.000 mètres cubes (1859), qui détermine les crues du Rhône à son entrée en France.

Le débit du Rhône, qui était de 1.020 mètres cubes après le confluent de l'Arve, n'était encore que de 2.800 mètres cubes avant le confluent de l'Ain, à 175 kilomètres en aval. Le débit total des affluents intermédiaires était de beaucoup supérieur à la différence (Valserine, 400 mètres cubes ; Usses, 200 mètres cubes ; Fiers, 1.200 mètres cubes ; Séran, 100 mètres cubes ; Guiers, 500 mètres cubes ; Bourbre, 400 mètres cubes ; mais les crues de ces affluents ont été courtes et sensiblement en avance sur celle du Rhône.

Au contraire, pour l'Ain, qui a débité 2.950 mètres cubes (3.200 en 1850), les maxima ont à peu près coïncidé, et le débit maximum en aval du confluent a été de 5.600 mètres cubes. Ce maximum était réduit à 5.400 mètres cubes à Lyon.

La crue de la Saône a été en retard sur celle du Rhône ; aussi cette rivière, dont le débit maximum a été de 2.230 mètres cubes (3.700 mètres cubes en 1840), n'a augmenté le débit maximum du Rhône que de 1.600 mètres cubes. Ce débit s'est ainsi trouvé porté à 7.000 mètres cubes.

Au-delà de Lyon, tous les affluents ont eu leur crue en avance sur celle du Rhône ; le tableau ci-après donne les

débits maxima du Rhône en amont et en aval du confluent, le débit maximum de l'affluent en 1856 et le débit de la plus grande crue connue (antérieure à 1862).

DÉSIGNATION des affluents	DÉBITS MAXIMA EN 1856 du Rhône en amont du confluent	du Rhône en aval du confluent	de l'affluent	PLUS GRANDES CRUES connues des affluents dates	débits	OBSERVATIONS
Le Gier.....	7.010^{mc}	7.060^{mc}	470^{mc}	1854	700^{mc}	
La Gère.....	7.060	7.100	500	1750	1.000	
Le Baucet...			300			
La Cance....	7.000		740	1840	1.200	
La Galaure..			500	1840	800	
L'Ay........		7.250	400			
Le Doux....	7.250	7.300	450	1787	1.800	
L'Isère......	7.200	9.700	2.575 (*a*)	1651	3.000	(*a*) Hauteur à l'échelle du pont de la route nationale n° 7, 5^{m},00.
L'Eyrieux ...			500	1857	3.050	
La Drôme...	9.700	10.300	1.050	1842 (*b*)	1.750	(*b*) Hauteur au-dessus de l'étiage, 4^{m},30.
Le Roubion..	10.300		700	1845	1.300	
L'Escoutaye .		10.700	400	1846	2.300	
L'Ardèche...	11.300	11.900	1.500	1827	9.000	
L'Aigues			600			
La Cèze.....			100	1827	1.000	
L'Ouvèze	10.975		100			
La Durance..	11.100	13.900	3.000	1843 (*c*)	6.000	(*c*) Hauteur au pont de Bompas (aval), 3^{m},70.
Le Gardon...		13.900	300	1854	2.500	

Il est évident que les chiffres ainsi déterminés ne constituent qu'une approximation fort grossière ; et il est fort probable que des mesures directes de vitesse, au moyen de flotteurs, donneraient des résultats plus rapprochés de la réalité, malgré toutes les difficultés et les causes d'erreur que présente une pareille opération, lorsqu'elle est faite par une crue d'inondation.

Comparaison des chiffres de MM. Belin et Kleitz avec ceux donnés par d'autres Ingénieurs.

Ainsi que nous l'avons dit, les résultats ci-dessus cités sont les seuls que l'on ait pour les débits du Rhône; mais,

sur quelques-uns des affluents, il a été fait d'autres évaluations qu'il peut être intéressant de comparer aux précédentes.

Durance. — M. Imbeaux a déterminé le débit de la Durance pendant la crue de 1843, au moyen du remous produit par le pont de Bompas, un peu en amont du confluent. Il est ainsi arrivé à 4.600 mètres cubes, chiffre sensiblement inférieur à celui que donne M. Belin.

La crue de 1843 n'est plus la plus forte crue connue de la Durance; elle a été dépassée de 0m,30 environ par la crue de 1886, dont on évalue le débit :

A 5.800 mètres cubes à Bompas;
6.700 — à Mirabeau;
3.420 — à Château-Arnoux, dans les Basses-Alpes (hauteur à l'échelle : 4m,09).

Nous reviendrons d'ailleurs plus loin sur la question des débits de la Durance.

Drôme. — Pour la Drôme, il est à remarquer que les évaluations ont été faites en des points où le lit, très régulier, est encaissé entre des digues perreyées insubmersibles; ces évaluations présentent donc plus de garantie d'exactitude que dans les cas ordinaires. La formule de M. Bazin appliquée à la crue de 1866, qui a atteint 3m,40 à l'échelle de Crest, donne 1.450 mètres cubes.

Isère. — Le chiffre donné pour le débit de l'Isère en 1856 concorde bien avec celui (2.600 mètres cubes) que donne l'application, par extrapolation, d'une formule parabolique dont les coefficients ont été déterminés par des jaugeages directs au moyen de flotteurs, mais seulement en eaux basses ou moyennes. Nous donnerons plus loin les résultats obtenus sur l'Isère supérieure.

Saône. — La Saône a atteint, en 1840, à l'échelle du pont La Feuillée, à Lyon, la cote $7^m,45$. Si l'on prolonge jusqu'à cette cote la formule parabolique déterminée par des jaugeages directs, jusqu'à $4^m,22$, on trouve un chiffre très voisin de celui de M. Belin (3.736 mètres cubes).

D'autre part, la crue de 1856 a été jaugée à Tournus, par M. Bénard, au moyen du remous du pont. Il a trouvé 2.550 mètres cubes. La crue du 1er janvier 1883, qui est restée de $0^m,03$ au-dessous de la crue de 1856, à Chalon, a été jaugée au moyen de flotteurs à Mâcon. On a trouvé 2.180 mètres cubes (M. Belin donne 2.230 mètres cubes pour la crue de 1856). Ces chiffres sont suffisamment concordants.

Ain. — Pour l'Ain, M. Delestrac, se basant sur les jaugeages faits à Pont-d'Ain jusqu'à la cote $2^m,50$, évalue le débit des plus grandes crues de l'Ain, à Pont-d'Ain (cote $4^m,00$), à 1.840 mètres cubes, et dans la partie inférieure de son cours à 2.500 mètres cubes. Ce chiffre est sensiblement inférieur à celui que donne M. Belin.

Jaugeages en eaux basses et moyennes. Courbes de débit.

Le Rhône a fait, depuis une vingtaine d'années, l'objet de jaugeages nombreux en eaux basses ou moyennes. La méthode à peu près exclusivement suivie a été celle des flotteurs.

Jusqu'en 1884 il n'a été fait usage que de flotteurs de superficie. Le coefficient de réduction adopté varie, suivant les sections, de 0,75 à 0,80.

Depuis 1884 on ne s'est plus servi que de bâtons lestés (sauf dans la partie comprise entre le confluent de l'Ardèche et Saint-Vallier) ; et, pour pouvoir relier les nouveaux résultats aux anciens, on a fait, en 1884, des

expériences de vitesse comparatives, qui ont conduit à admettre pour le rapport $\frac{U}{V}$, des valeurs variables de 0,805 à 0,956.

Nous avons déduit de ces jaugeages les formules suivantes :

STATIONS	ÉPOQUE des jaugeages	FORMULES	LIMITES d'application
Beaucaire	1874 à 1885	$Q=400+490(H-0,20)+100(H-0,20)^2$	de 0,20 à 4m
Avignon	1874 à 1885	$Q=390+270(H+0,70)+70(H+0,70)^2$	de — 0,80 à 3m,80
Pont-Saint-Esprit	1884 à 1889	$Q=350+280H+120H^2$	de 0 à 5m
Valence	1874 à 1889	$Q=330+400(H-0,30)+120(H-0,30)^2$	de 0 à 5m,20
Givors	1874 à 1884	$Q=210+230(H+0,50)+60(H+0,50)^2$	de — 0,80 à 3m,50
Lyon (en amont de la Saône)	1867 à 1889	$Q=150+150(H+0,50)+80(H+0,50)^2$	de — 0,60 à 3m
Le Sault (60 kil. en amont de Lyon)	1884 à 1885	$Q=80+150H+80H^2$	de 0 à 2m,70

Nous ferons remarquer, une fois de plus, que ces courbes ne peuvent être utilisées pour des hauteurs supérieures, et même, les jaugeages ayant été fort peu nombreux pour les cotes un peu élevées, la courbe est mal déterminée dans la région correspondante, et le coefficient du terme du second degré reste très incertain. Il est donc désirable que ces expériences se poursuivent, particulièrement pendant les crues atteignant de 2 à 5 mètres au-dessus de l'étiage.

Nous terminerons ce qui est relatif aux courbes de débit du Rhône en citant quelques expériences faites par les Ingénieurs suisses, sur le Rhône, entre la sortie du lac de Genève et la frontière française (*). Ces expériences ont été faites en deux points : au moulin de Vernier, à 5 kilomètres en aval du confluent de l'Arve, et au bâtiment des turbines, à 1 kilomètre en amont de ce même confluent.

(*) Nous devons ces renseignements à l'obligeance de M. Turrettini, président du Conseil administratif de Genève.

Tous les jaugeages ont été faits au moyen de flotteurs lestés.

Au moulin de Vernier (cote des plus basses eaux : 0,10 ; 5 février 1893), trois jaugeages seulement ont été faits ; ils ont donné les résultats ci-après :

Hauteurs........................	0,86	1,43	2,05
Débits..........................	214^{mc}	418^{mc}	735^{mc}

La plus grande crue connue (3 décembre 1888) a atteint 3^{m},50 ; le débit correspondant est évalué par les Ingénieurs suisses à 1.250 mètres cubes.

En aval du bâtiment des turbines, les résultats ont été le suivants (plus basses eaux : 0^{m},25 ; 29 janvier 1893).

Hauteurs..	1,10	1,63	1,67	2,45	2,62	3,33	3,70 (*)	(*) 1er oct. 1890 : plus grande crue connue.
Débits....	146	241	269	362	398	603	606	

Bien que ces jaugeages soient encore peu nombreux, on peut admettre comme première approximation la formule suivante :

$$Q = 40 + 110\,(H - 0{,}25) + 20\,(H - 0{,}25)^2.$$

Durance. — Nous donnerons quelques détails sur les jaugeages effectués sur la Durance, à Mirabeau, parce qu'il y a là un exemple curieux des variations considérables que peuvent subir les courbes de débit sur les rivières à fond mobile.

Depuis 1867, les Ingénieurs des Bouches-du-Rhône ont fait des jaugeages suivis au pont de Mirabeau. Quand le

débit était inférieur à 400 mètres cubes, ils relevaient la section mouillée au moyen de sondages : et la vitesse au moyen du moulinet de Woltmann. Quand le débit était supérieur à 400 mètres cubes, on mesurait la vitesse au moyen de vingt-quatre flotteurs et, comme le mouvement des graviers rendait tout sondage impossible, on prenait pour section celle qui résultait des profils levés en basses eaux.

Les Ingénieurs des Bouches-du-Rhône avaient coordonné toutes leurs observations au moyen d'une courbe. Cependant ils avaient constaté des déformations incessantes du lit et reconnu que le niveau supérieur des graviers se déplaçait dans une amplitude de $1^m,50$ en hauteur, de telle sorte que le débit de 70 mètres cubes (débit des basses eaux ordinaires) pouvait correspondre, à l'échelle de la Madeleine située à 170 mètres en amont du pont, à un niveau variant entre $0^m,25$ et 2 mètres. Toutefois ces modifications n'étaient guère que des oscillations autour d'un état d'équilibre moyen ; ce qui pouvait faire penser que, si elles avaient une grande influence pour faire varier les petits débits correspondant à un même niveau, elles ne devaient pas changer sérieusement les débits en grandes eaux.

Mais M. l'Ingénieur Imbeaux, dans un mémoire fort intéressant (*), a fait voir que, si on voulait appliquer la courbe à la détermination des débits des crues de 1886, on arriverait à une anomalie absolument inadmissible. En effet, cette courbe donne 5.750 mètres cubes (chiffre déterminé par un jaugeage direct) pour la crue du 28 octobre 1882, qui a atteint $6^m,60$; pour les crues du 27 octobre, du 8 novembre et du 11 novembre 1886, qui n'ont atteint que 5,08, 5,25 et 5,75, elle donnerait 2.800 mètres

(*) *Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1892.

cubes, 3.100 mètres cubes et 3.800 mètres cubes, alors que, sur tous les autres points, les deux premières ont atteint sensiblement la même cote que celle de 1882, et que la dernière, celle du 11 novembre, l'a dépassée d'au moins 0^m,40.

M. Imbeaux a alors fait relever l'état du fond, et il a reconnu qu'il s'était produit dans toute la passe de Mirabeau un dragage très puissant, de sorte que le fond s'était abaissé de 1^m,25 en moyenne sur toute la largeur et sur quelques centaines de mètres en amont et en aval : c'est autour de ce nouvel état d'équilibre qu'oscille aujourd'hui le niveau des graviers. Il détermine alors les débits des crues de 1886, en majorant les cotes de 1^m,25 et en appliquant la courbe des Ingénieurs des Bouches-du-Rhône ; et il trouve ainsi 5.000, 5.400 et 6.700 mètres cubes.

Il en conclut, d'ailleurs, que la courbe des débits à Mirabeau doit être modifiée toutes les fois qu'il se produit dans l'état du fond une perturbation notable.

Pour déterminer approximativement la courbe applicable à l'état actuel, M. Imbeaux a tracé les courbes qui seraient données tant dans l'état ancien que dans l'état actuel, par les formules du mouvement uniforme ; et il a tracé une courbe qui se comporte, par rapport à la courbe du mouvement uniforme avec la section actuelle, comme la courbe des Ingénieurs des Bouches-du-Rhône par rapport à la courbe du mouvement uniforme avec la section ancienne. Le procédé ne peut évidemment donner qu'une approximation très grossière ; en réalité, on ne peut tracer la nouvelle courbe de débit qu'en recommençant une nouvelle série de jaugeages.

M. Imbeaux a également tracé la courbe des débits à Bompas (à 16 kilomètres en amont du confluent avec le Rhône), bien qu'il n'en connût que deux points, celui correspondant aux basses eaux (72 mètres cubes) et celui correspondant à la crue de 1843, évaluée, au moyen du remous

du pont, à 4.600 mètres cubes. Entre ces deux points, la courbe a été tracée à peu près au sentiment.

Isère et affluents. — Pour l'Isère, on a déterminé quelques courbes de débit. Des expériences faites au moyen de flotteurs ont conduit à adopter pour le débit, près de l'embouchure, la formule :

$$Q = 100 + 150H + 70H^2 ;$$

H représente la hauteur à l'échelle du pont de la route nationale n° 7.

A Grenoble, les Ingénieurs du département de l'Isère ont mesuré de même les débits de l'Isère et du Drac ; ils ont représenté les résultats de leurs expériences par les formules suivantes :

Isère : $Q = 121\,(H + 0{,}86)^{\frac{3}{2}}$, H hauteur à l'échelle de la Perrière ;

Drac : $Q = 280\,(H + 0{,}70)^{\frac{3}{2}}$, — à l'échelle du pont de Fontaine.

Ces formules sont applicables : la première pour les valeurs de H supérieures à 1 mètre, la deuxième, pour les valeurs supérieures à $1^m,50$. Appliquées aux grandes eaux, elles donnent :

Pour l'Isère : Crue du 2 novembre 1859, 1.900 mètres cubes (H = 5,45) ;

Pour le Drac : Crue du 31 mai 1856, 1.850 mètres cubes (H = 4,20).

Elles peuvent, d'ailleurs, être remplacées par les formules paraboliques suivantes, qui donnent sensiblement les mêmes résultats dans les limites d'application :

Pour l'Isère... $Q = 300 + 270\,(H - 1) + 20\,(H - 1)^2$
Pour le Drac.. $Q = 200 + 380\,(H - 1{,}50) + 90\,(H - 1{,}50)^2$.

M. le Sous-Ingénieur Perceval admet, pour les débits de l'Isère, à Montmélian, le barême suivant :

	HAUTEURS	DÉBITS
Etiage	0,00	50
Eaux moyennes	1,00	300
Hautes eaux	2,20	900
Crues extraordinaires	3,20	1.500

et de même pour l'Isère et l'Arc à Chamousset :

	ISÈRE	ARC
Etiage	42	29
Crue de 1859	800	575

Tous ces chiffres résultent simplement de l'application de la formule de Prony ; toutefois il faut remarquer, d'une part, que les rivières coulent dans des lits endigués très réguliers ; d'autre part, qu'à chaque station une mesure directe de vitesse, au moyen de flotteurs, a donné sensiblement les mêmes résultats que la formule.

Saône et Doubs. — Le bassin de la Saône est un de ceux où il a été fait le plus de jaugeages et avec le plus de méthode. Le Service de la Navigation de la Saône, à qui l'on doit la plupart de ces jaugeages, se sert presque exclusivement de bâtons lestés.

A Lyon, dix jaugeages très concordants nous ont permis d'établir la formule :

$$Q = 73 + 25 (H + 1,82) + 40 (H + 1,82)^2$$

(— 1,82 est la hauteur de l'étiage de novembre 1874 ; la hauteur de la crue de 1840 a été $7^m,45$) ; mais cette formule ne peut être appliquée que pour les valeurs de H comprises entre 0,07 et 4,22, c'est-à-dire pour les eaux moyennes.

A Chalon, les jaugeages ont été fort nombreux, mais M. l'Ingénieur en chef Tavernier estime que les opérations antérieures à 1889 ont été faites dans un emplacement mal choisi ; nous n'avons donc tenu compte, pour tracer la courbe des débits, que des opérations faites en 1889 ou depuis 1889. Toutefois, comme aucun jaugeage récent n'a été fait au-dessous de la cote 0,52 (les eaux sont descendues, en 1870, jusqu'à — $1^m,22$), nous avons eu recours, pour la partie basse de la courbe, aux jaugeages faits en 1858 par M. Leveillé. La courbe que nous proposons se compose de la parabole :

$$Q=20+40(H+1,22)+24(H+1,22)^2 \text{ de } -1^m,22 \text{ à } 4^m,50, \text{ cote de subm.}$$

et de la droite :

$$Q = 1934 + 600\,(H - 4,50) \qquad \text{de } 4^m,50 \text{ à } 6^m,50.$$

Toutefois, la seconde formule n'est établie que par un petit nombre d'expériences et n'est donnée qu'à titre de première approximation.

Les résultats des jaugeages faits à Auxonne sont indiqués dans le tableau suivant ; nous ne mentionnons que les résultats obtenus avec les barrages ouverts :

0,12	0,24	1,03	1,46	1,99	2,19	2,92	2,96	3,19	3,25	3,30	3,44	3,59	3,86	4,68
20	13	164	265	298	353	482	486	558	554	555	653	767	898	1.060

Si on laisse de côté les deux premiers jaugeages sur lesquels la discordance des résultats jette d'ailleurs quelques doutes (*), on peut adopter, pour représenter les autres, la formule :

$$Q = 13 + 20\,(H + 1{,}26) + 24\,(H + 1{,}26)^2$$

(cote des plus basses eaux, — $1^m,26$; cote de submersion, $3^m,10$).

Au-delà de $3^m,50$ cette formule donne des résultats un peu faibles; mais les jaugeages au-dessus de cette limite sont encore trop peu nombreux et trop peu concordants pour déterminer le terme complémentaire qu'il conviendrait d'ajouter à la formule.

Pour Gray, nous proposons la formule suivante, qui n'est établie par des jaugeages directs que pour les cotes comprises entre $0^m,28$ et $3^m,68$:

$$Q = 10 + 3\,(H + 1) + 22\,(H + 1)^2$$

(— $1^m,00$ est la cote des plus basses eaux),

avec le terme complémentaire $280\,(H - 3)^2$ au-dessus de 3 mètres, cote de submersion.

Doubs. — Enfin, pour le Doubs, à Verdun, on peut adopter, à titre de première approximation, la formule suivante :

$$Q = 12 + 30\,(H + 0{,}40) + 70\,(H + 0{,}40)^2 \text{ entre } -0^m,40 \text{ et } 3^m,35$$

(H est la cote à l'échelle de Neublans; — $0^m,40$, la cote des plus basses eaux ; la crue de 1882 a atteint $4^m,50$). Mais cette courbe est encore assez mal déterminée dans sa partie moyenne.

(*) Il est probable que, malgré l'indication contraire du compte rendu, les barrages étaient relevés.

Citons encore les résultats obtenus à Besançon et à Pontarlier, au moyen de flotteurs, pendant les crues exceptionnelles du Doubs.

A Besançon, un jaugeage fait en septembre 1852 a donné 1.500 mètres cubes. Cette crue, qui est la plus grande crue connue, a atteint $8^m,70$ au-dessus du busc aval de l'écluse de Saint-Paul, soit $7^m,07$ au-dessus des plus basses eaux connues.

A Pontarlier, un jaugeage fait le 29 décembre 1882 a donné 309 mètres cubes, mais la hauteur n'a pas été repérée.

Ain. — M. Delestrac, en coordonnant les jaugeages faits sur l'Ain au moyen de flotteurs jusqu'à la cote $2^m,50$, a dressé une courbe qui peut être représentée par la formule :

$Q = 7 + 35H + 105H^2$ (H est la hauteur à l'échelle de Pont d'Ain).

Lac d'Annecy. — Enfin, on doit à M. le Président Carnot, alors Ingénieur à Annecy, une série de jaugeages sur les émissaires du lac d'Annecy. Le débit oscille entre $3^{mc},300$ ($0^m,05$ au-dessus de l'étiage) et $32^{mc},00$ ($1^m,01$ au-dessus de l'étiage) ; il est, en moyenne, de $10^{mc},737$.

Débits des plus basses eaux.

Rhône. — En raison de la mobilité du lit du Rhône, on ne peut définir l'étiage conventionnel au moyen d'une cote à chaque échelle, et les Ingénieurs de la Navigation ont pris pour état d'étiage celui où le fleuve débite 330 mètres cubes à Valence et passe à Arles (où la hauteur varie peu en raison du voisinage de la mer), à la cote — $0^m,70$.

Les documents dont nous disposons ne nous permettent pas de fixer avec quelque certitude les débits qui, aux

divers points, correspondent au débit de 330 mètres cubes à Valence. Cependant on peut admettre, comme première approximation, les chiffres suivants :

A Beaucaire....................	400	mètres cubes
Avignon......................	390	—
Pont-Saint-Esprit............	350	—
Valence	330	—
Givors........................	210	—
Lyon (en amont de la Saône).	150	—
Au Sault......................	80	—

Ces chiffres ne correspondent pas généralement aux plus bas débits observés. Ces débits sont indiqués dans le tableau ci-dessous, où nous donnons également la cote correspondante à l'échelle avec l'indication de la date du jaugeage, indication essentielle d'après la remarque que nous venons de faire.

NOMS DES STATIONS	ÉPOQUE DU JAUGEAGE	COTE à l'échelle	DÉBIT	PLUS BASSES EAUX CONNUES Cote	PLUS BASSES EAUX CONNUES Date
Beaucaire........	10 novembre 1876	0,19	398	— 0,25	janvier 1859
Avignon..........	17 novembre 1874	— 0,79	357	— 0,83	février 1868
Pont-Saint-Esprit..	5 décembre 1884	0,10	367	— 0,11	janvier 1858
Valence..........	28 novembre 1884	0,00	258	— 0,02	id. id.
Tournon..........	29 novembre 1884	— 0,54	184	— 0,61	mars 1890
Givors...........	28 novembre 1884	— 0,77	150	— 0,77	novembre 1884
Lyon.............	29 novembre 1884	— 0,38	134	— 0,61	janvier 1872
Le Sault...... ..	27 janvier 1885	0,06	90	— 0,15	janvier 1858

Il est bon de remarquer que le débit de novembre 1884 a été exceptionnellement bas en aval de la Saône, par suite d'une coïncidence fortuite entre les très basses eaux des rivières à étiage d'été, comme la Saône, et des rivières à étiage d'hiver, comme le Rhône et les affluents de rive gauche. Les chiffres donnés pour Valence, Tournon et

Givors, représentent donc probablement, à très peu près, les plus bas débits du Rhône aux points correspondants.

Durance. — D'après d'anciens jaugeages faits en 1858 au moyen d'un moulinet et de flotteurs, le débit d'étiage de la Durance serait d'environ 72 mètres cubes; mais ce débit est, dans certaines années, presque entièrement absorbé par les prises d'eau. Depuis 1877, on fait régulièrement, tous les ans, au moyen de flotteurs, des jaugeages en basses eaux qui ont montré que le débit pouvait descendre jusqu'à 937 litres (1885) et même jusqu'à 400 litres (1882).

Nous avons déjà signalé les observations faites régulièrement depuis 1867 au pont de Mirabeau, par les Ingénieurs des Bouches-du-Rhône. Le plus faible débit constaté depuis cette époque a été 46 mètres cubes (26-27 septembre 1870). Nous ne donnons pas la cote correspondante qui n'a aucune signification, en raison de la mobilité du fond.

Drôme. — Le débit de la Drôme, à Crest, est évalué à 3 mètres cubes. Ce chiffre représente la moyenne de deux jaugeages faits en 1888 et en 1889 au moyen de flotteurs, et qui ont donné respectivement $2^{mc},85$ et $3^{mc},15$.

Isère. — Le débit d'étiage de l'Isère près de son embouchure est 95 mètres cubes. Ce chiffre résulte d'un jaugeage fait le 24 novembre 1884 au moyen de flotteurs pendant de très basses eaux ($0^{m},06$ au-dessous du zéro de l'échelle du pont de la route nationale n° 7).

Rappelons, d'ailleurs, qu'on a évalué, d'après la formule de Prony, les débits d'étiage :

De l'Isère,	à Montmélian,	à 50	mètres cubes
—	à Chamousset,	à 42	—
De l'Arc,	à Chamousset,	à 29	—

Saône et affluents. — Les débits d'étiage de la Saône sont fort mal connus, parce que dans les périodes de faible débit les barrages sont relevés. Dans ces conditions, non seulement les hauteurs observées aux échelles sont artificielles, mais encore, les vitesses étant extrêmement faibles, les perturbations accidentelles dues, par exemple, à un vent même léger, prennent une grande importance.

La courbe des débits de la Saône, à Lyon, donne, pour les plus basses eaux connues, un débit de 73 mètres cubes; mais, comme les jaugeages qui ont servi à établir cette courbe n'ont pas été faits au-dessous de la cote 0,06, c'est-à-dire d'une cote supérieure de 1^m,88 aux plus basses eaux, ce chiffre n'a aucune valeur. Un jaugeage, fait le 29 novembre 1884 (barrages relevés), a donné 43 mètres cubes. Il est même probable que le débit devait être encore plus faible, puisque, à la même époque, le débit du Rhône, à Givors, ne dépassait que de 16 mètres cubes le débit du Rhône en amont du confluent de la Saône.

A Chalon, le débit minimum peut être évalué d'une façon un peu plus approximative, grâce aux jaugeages faits par M. Leveillé en 1858.

Le plus faible débit obtenu a été 29^{mc},79 (moulinet), l'échelle de Chalon variant pendant l'expérience de — 0,90 à — 0,85, soit 0^m,35 environ au-dessus des plus basses eaux. D'après l'allure de la courbe des débits, il est probable que le débit minimum est d'environ 20 mètres cubes.

A Auxonne, le plus faible résultat accusé par les jaugeages a été 13 mètres cubes, en août 1885 (barrages relevés). Mais, outre qu'on ne sait pas quelle eût été la cote correspondante dans l'état naturel de la rivière, ce chiffre même est douteux, comme nous l'avons signalé plus haut, à cause de la vitesse très faible des eaux.

Sur la Saône supérieure et ses affluents on a obtenu, pendant les sécheresses d'août 1884, les résultats suivants, qui ne doivent pas s'écarter beaucoup des débits minima.

RIVIÈRES	STATIONS D'OBSERVATION	DÉBIT	MODE DE JAUGEAGE
Saône	Chemilly (près Vesoul)......	8^{mc},72	Flotteurs lestés.
id.	Conflandey (en amont de la Lanterne)...............	4 ,74	Mesure de la hauteur de la lame déversante sur le radier du barrage abattu.
id.	Ormoy.....................	5 ,00	Flotteurs lestés.
id.	Ranzéville (en amont du Coney).................	2 ,50	id.
Lanterne	Conflandey................	4 ,00	Déversement par un pertuis.
Coney	Corre......................	2 ,20	Flotteurs lestés.

On a obtenu sur le Doubs, à Verdun, pendant les sécheresses de 1893, avec des flotteurs lestés, les résultats suivants :

DATE du jaugeage	COTE à Neublans	DÉBIT
21 juin....	— 0,31	14,14
4 juillet..	— 0,20	20,00
8 août....	— 0,10	36,94

D'après ces données, le débit minimum, les 14-15 septembre (cote — 0,40), a dû être de 12 à 13 mètres cubes.

On doit encore au Service hydraulique du département du Doubs les jaugeages suivants, qui donnent les débits minima du Doubs à Besançon, à Voujaucourt et à Pontarlier.

STATIONS d'observation	DATE	DÉBIT	MODE DE JAUGEAGE ET OBSERVATIONS
Besançon.....	30 septembre 1874	m.c 12,2	Jaugeage fait au moyen du déversoir du barrage de Vilotte, la rivière étant un peu au-dessus de l'étiage.
Voujaucourt..	13-18 septembre 1870	4,35	Jaugeages faits en faisant passer alternativement toute la rivière sur la crête du barrage et par une vanne de décharge, et en prenant la moyenne des résultats.
En amont de l'Allan)....	29 septembre à 5 octobre 1870	4,25	M. l'ingénieur en chef Chatel estime que le débit de 4m,25 est un minimum. En 1874, le débit n'est pas descendu au-dessous de 5mc,38.
Pontarlier....	7 novembre 1884	0,50	Jaugeage fait au moment de l'étiage par la vanne d'une usine.

Affluents du Rhône au-dessus de Lyon. — On ne sait que peu de choses sur les débits d'étiage des affluents du Rhône au-dessus de Lyon.

Le débit d'étiage de l'Ain est, d'après M. Delestrac, de 6mc,90 ; celui du Fiers au pont de Monettre, de 1mc,757 (moulinet de Woltmann); celui de la Dranse, d'après M. Quartery, 11mc,95 (flotteurs).

Nous rappellerons, enfin, que le débit minimum observé sur les émissaires du lac d'Annecy est 3mc,300.

Résumé.

En résumé, malgré les difficultés toutes spéciales que présentent les jaugeages sur la plupart des rivières du bassin du Rhône, on dispose d'un ensemble de documents important. Il y a même peu de régions où cette question des jaugeages paraisse attirer davantage l'attention des Ingénieurs à l'époque actuelle.

Nous signalerons cependant l'intérêt que présenteraient de nouveaux jaugeages effectués soit sur le Rhône, soit sur ses principaux affluents, pendant les crues moyennes et même, s'il était possible, pendant les grandes crues qui pourront se présenter.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Dans le cours de cette étude nous avons rencontré une quantité considérable de données d'importance très diverse. Il nous semble utile de dire, en terminant, quelques mots de la valeur pratique relative que présentent, à notre avis, d'après cette sorte de consultation générale, les différents procédés de jaugeage (*).

Tout d'abord, il convient d'écarter complètement les résultats obtenus au moyen des formules d'hydraulique qui donnent la vitesse moyenne en fonction de la pente ; ces formules qui, d'ailleurs, ne sont théoriquement applicables qu'au cas du mouvement permanent, ne peuvent conduire à aucun résultat un peu sérieux, en raison de l'incertitude où l'on se trouve sur la valeur des coefficients à adopter.

Le seul cas où ces formules puissent rendre quelque service est le cas des rivières endiguées, coulant dans un lit très régulier; encore est-il indispensable de les contrôler fréquemment par des mesures de vitesse faites directement.

La formule du déversoir peut conduire, au contraire, à des résultats très exacts, pourvu que l'on puisse se placer dans des conditions telles que le coefficient à introduire dans la formule soit bien défini. M. Bazin a montré (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1888, 2e semestre, et 1890, 1er semestre) que ce coefficient peut varier entre des limites assez étendues : le jaugeage par déversoir ne devra donc être appliqué que pour les petits débits, lorsqu'on pourra établir un barrage provisoire, analogue à

(*) Nous ne parlons pas du tube de Pitot et de ses diverses transformations, non que nous ayons un motif spécial pour critiquer ces instruments, mais simplement parce qu'ils paraissent avoir été très peu employés pratiquement jusqu'à présent.

ceux qu'a expérimentés M. Bazin ; le coefficient à appliquer sera alors connu avec beaucoup d'exactitude. Mais nous croyons qu'on s'expose à de graves erreurs, si on cherche à appliquer cette méthode aux grands déversoirs qui accompagnent les barrages des rivières navigables.

Le moulinet de Woltmann a le grand avantage de permettre la mesure directe de la vitesse en chaque point de la section, ce qui exclut l'intervention d'un coefficient toujours plus ou moins arbitraire ; il a l'inconvénient de devenir d'un emploi extrêmement difficile, lorsque les vitesses deviennent un peu fortes. De plus, l'opération prenant un temps appréciable, ce procédé ne convient qu'au jaugeage des eaux basses et moyennes, lorsque le niveau de la rivière ne varie pas rapidement.

Dès qu'il s'agit d'une rivière importante et d'une crue un peu forte, à plus forte raison pour les grandes crues, la mesure de la vitesse ne peut pratiquement être faite qu'au moyen de flotteurs. On peut, d'ailleurs, employer soit des flotteurs de surface, soit des bâtons lestés.

Le système des flotteurs de surface a évidemment pour lui la simplicité et la facilité de mise en œuvre : son inconvénient est l'introduction, dans le calcul du débit, d'un coefficient un peu arbitraire, représentant le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse de superficie : on prend généralement un coefficient de 0,80. Les expériences citées par M. Bazin (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1884, 1er semestre), et qui ont porté sur des rivières de profondeurs très différentes tendent à prouver que ce rapport varie peu, de 0,83 à 0,88 environ. Il semble donc qu'en prenant un coefficient de 0,85 on ne risque qu'une erreur relative bien faible.

Il ne faut pas croire, d'autre part, que les bâtons lestés donnent d'une manière absolument exacte la vitesse moyenne. Ces bâtons, en effet, doivent avoir une longueur sensiblement inférieure à la profondeur minimum de la

rivière sur tout leur parcours, et l'erreur qui en résulte peut, croyons-nous, atteindre facilement l'erreur que l'on commet en appliquant aux vitesses superficielles un coefficient de réduction de 0,85.

Ce qui, à notre avis, rend recommandable dans tous les cas le système des flotteurs superficiels, c'est son extrême simplicité et le peu de temps qu'exige une opération. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, qu'en pratique les jaugeages ne peuvent être faits par des agents chargés d'un service régulier, que la question du débit des rivières préoccupe médiocrement. Si l'on veut obtenir des expériences faites en nombre suffisant, et au moment voulu, il faut recommander un procédé de jaugeage qui n'exige que le minimum d'installations préparatoires et pour lequel l'opérateur n'a besoin, pour ainsi dire, d'aucune connaissance spéciale.

Paris, novembre 1894.

NOTE ANNEXE

sur la méthode de M. Sainjon pour le calcul du débit des grandes crues de la Loire.

Nous avons exposé, à propos des crues de la Loire, le principe de la méthode de M. Sainjon; il ne sera pas inutile de donner, à titre d'éclaircissement, un exemple numérique.

Soient: m le coefficient relatif à un point A; m' le coefficient relatif à un autre point B; h et h' les hauteurs au-dessus du fond moyen observées en ces deux points; on a les deux équations :

$$(1) \qquad m\Sigma h^{\frac{3}{2}} = m'\Sigma h'^{\frac{3}{2}},$$

la sommation s'étendant pour chaque station à toute la durée de la crue ;

$$(2) \qquad m\Sigma h^{\frac{3}{2}} - m'\Sigma h'^{\frac{3}{2}} = \frac{V}{3600},$$

les hauteurs h et h' étant relevées d'heure en heure et la sommation s'étendant aux hauteurs relevées pendant une période ayant pour les deux stations une même origine et une même fin, période pendant laquelle le volume V s'emmagasine ou se vide suivant que la crue est croissante ou décroissante.

A l'aide de ces deux équations, on peut déterminer m et m'.

M. Sainjon a choisi pour ce premier calcul, qui devait être la base de toutes les autres déterminations, la station d'Orléans et celle de Cuissy, située à 56 kilomètres en amont ; il a été guidé dans ce choix par les considérations suivantes :

1° La Loire est complètement endiguée entre Cuissy et Orléans, sauf une solution de continuité de 1.500 mètres à peine de longueur ;

2° En outre des échelles de Cuissy et d'Orléans, il y a sept échelles intermédiaires qui ont été toutes observées pendant la crue de 1856 ; ce qui permet de calculer assez exactement le volume V, pourvu que l'on parte d'un moment où toutes les inégalités du lit et des chantiers contigus aux levées sont recouvertes par les eaux et qu'on s'arrête avant la formation des brèches.

Cela dit, supposons que m et h soient le coefficient et la hauteur de Cuissy, m' et h' le coefficient et la hauteur d'Orléans ; pour appliquer l'équation (1), M. Sainjon a choisi la plus forte crue sans brèche observée à Cuissy et à Orléans, celle du 20 mai 1856 pour une période qui commence : à Cuissy, le 19, à cinq heures du matin et à la cote $4^m,74$; à Orléans, le même jour, à trois

heures du soir, et à la cote $4^m,50$, et qui se termine vingt-huit heures plus tard, après le retour des mêmes cotes.

On a pour Cuissy :

$$\Sigma h^{\frac{3}{2}} = 288,21 ;$$

et pour Orléans :

$$\Sigma h'^{\frac{3}{2}} = 316,32.$$

Donc :

$$288,21 \times m = 316,32 \times m',$$

ou :

$$m' = 0,91m.$$

Pour appliquer l'équation (2), M. Sainjon a choisi une période de vingt heures commençant à Cuissy comme à Orléans dans la nuit du 31 mai au 1er juin, à minuit.

On a pour Cuissy :

$$\Sigma h^{\frac{3}{2}} = 252,06,$$

et pour Orléans :

$$\Sigma h'^{\frac{3}{2}} = 204,13 ;$$

de plus :

$$V = 85.582.572^{mc},12 ; \qquad \frac{V}{3600} = 23.772^{mc},94 ;$$

l'équation (2) devient donc :

$$252,06 \times m - 204,13 \times m' = 23.772,94.$$

Si on remplace m' par sa valeur $0,91m$, on trouve :

$$m = 359, \qquad \text{d'où :} \qquad m' = 326.$$

Pendant la période de vingt heures qui a servi à l'application de l'équation (2), la hauteur est passée à Cuissy

de $4^m,50$ à $7^m,22$, et à Orléans de $3^m,73$ à $5^m,54$. Pour vérifier l'exactitude de l'hypothèse qu'on a faite en supposant m et m' constants, M. Sainjon a recommencé les calculs en subdivisant cette période de vingt heures en deux autres de dix heures chacune, et il a trouvé :

Pour la première période de dix heures :

$$m = 368, \qquad m' = 335;$$

pour la deuxième :

$$m = 354, \qquad m' = 322.$$

Les différences sont de l'ordre des erreurs qu'on peut faire dans l'appréciation des volumes emmagasinés.

Une fois le coefficient d'Orléans déterminé, on a déduit très facilement, au moyen de l'équation (1), le coefficient d'une station quelconque comprise entre les confluents de l'Allier et du Cher ; il semble inutile de donner un exemple numérique du calcul.

Observations sur les valeurs numériques des coefficients *m*.

La formule $Q = mh^{\frac{3}{2}}$ est déduite de celle du mouvement permanent : $\frac{\omega i}{\chi} = au + bu^2$, dans laquelle on suppose $\frac{\omega}{\chi} = h$, et où on néglige le terme du premier degré en u. Cette dernière formule devient alors, en effet :

$$u = A\sqrt{hi},$$

d'où :

$$Q = Alh\sqrt{hi} = Al\sqrt{i}h^{\frac{3}{2}}$$

et, comme on choisit des points où l varie très peu avec h, que d'ailleurs l'expérience montre que la pente superficielle varie peu, on a enveloppé dans une constante unique les trois facteurs A, l et $\sqrt{i}$.

Mais il était intéressant, pour comparer les formules de M. Sainjon, tant entre elles qu'avec celles de même forme qu'ont données les Ingénieurs italiens, de dégager la valeur de $A = \frac{m}{l\sqrt{i}}$ ou de $A' = \frac{m}{l\sqrt{P}}$, P désignant la pente par kilomètre au lieu de la pente par mètre, de sorte que $A' = \frac{A}{\sqrt{1000}}$.

Les valeurs de A', calculées pour vingt stations comprises entre Briare et Tours, varient de 0,988 à 1,938. La moyenne est de 1,386, et les écarts autour de la moyenne sont généralement faibles.

Les Ingénieurs italiens ont trouvé, pour le Pô, A' = 1,27; d'autre part, les expériences de Prony donnent A' = 1,58. C'est ce dernier chiffre qui a été adopté par Tadini dans sa formule bien connue : $U = 50\sqrt{Ri}$, puisque :

$$\frac{50}{\sqrt{1000}} = 1,58.$$

N° 30

BARÊMES
DESTINÉS A FACILITER LE CALCUL
DES
PONTS MÉTALLIQUES
A UNE OU PLUSIEURS TRAVÉES

DEUXIÈME PARTIE. — POUTRES CONTINUES

Par M. DUPUY, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite
et M. CUËNOT, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

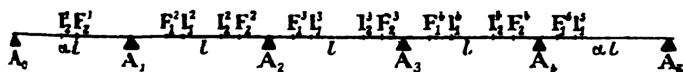
CHAPITRE II.

Poutres reposant sur plus de deux appuis.

§ 1er. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Foyers et points d'influence.

Considérons une poutre continue reposant sur six appuis de niveau, et à section constante.



Nous admettrons que les travées centrales ont toutes la même portée l et que les travées extrêmes égales entre elles ont une portée égale à al.

Dans chaque travée existent quatre points spéciaux, savoir :

Un foyer placé entre l'appui de gauche et le milieu de la travée que nous désignerons par F_1 en ajoutant un exposant indiquant le numéro d'ordre de la travée ;

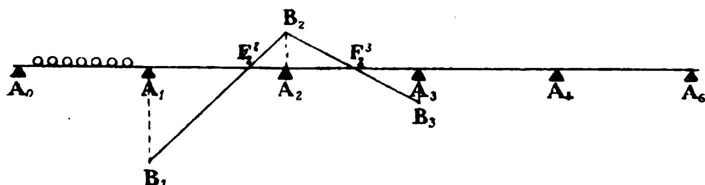
Un foyer placé entre le milieu et l'appui de droite que nous désignerons par F_2 avec un exposant indiquant la travée ;

Un point d'influence placé entre le foyer de gauche et le milieu de la travée que nous désignerons par I_1 avec un exposant indiquant la travée ;

Un point d'influence placé entre le milieu et le foyer de droite et que nous désignerons par I_2 avec exposant indiquant la travée.

Les foyers jouissent de la propriété suivante :

Si l'on suppose la première travée seule chargée et si l'on a déterminé le moment de flexion sur l'appui A_1, en



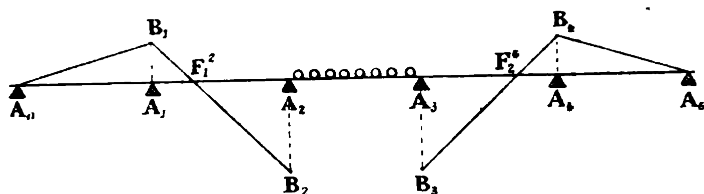
portant sur la verticale en A_1 une longueur A_1B_1 égale à ce moment, on obtiendra le moment sur l'appui A_2 en traçant la ligne B_1B_2 qui passe par le foyer F_2^2 ; puis le moment sur l'appui A_3, en traçant la ligne B_2B_3 passant par le foyer F_2^3.

Les travées extrêmes n'ont qu'un foyer et un point d'influence : F_2^1 et I_2^1 pour la première travée, F_1^5 et I_1^5 pour la dernière.

Le premier foyer de la première travée correspond à A_0 et le second foyer de la dernière travée à A_5.

Si la troisième travée est seul chargée, en supposant que A_2B_2 figure le moment sur l'appui A_2 et A_3B_3 le

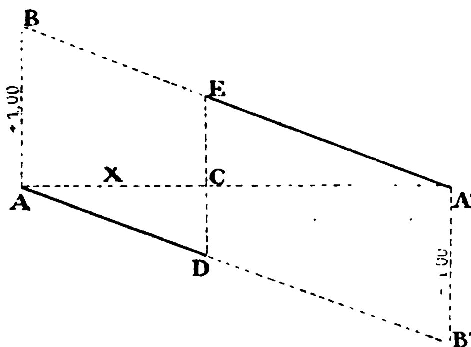
moment sur l'appui A_3, on aura le moment sur l'appui A_1 en traçant la ligne B_1B_2 passant par le foyer F_1^2 et le



moment sur l'appui A_4 en traçant la ligne B_3B_4 passant par le foyer F_2^4.

Lignes d'influence de l'effort tranchant.

Lorsqu'une poutre repose sur deux appuis, la ligne d'influence de l'effort tranchant est représentée par deux lignes droites, comme l'indique la figure ci-dessous pour la section C (Voir première partie, page 126) (*).



AD représente la ligne d'influence de l'effort tranchant lorsque le mobile est avant la section C, dont l'abscisse est X, c'est-à-dire lorsque $x < X$.

(*) *Annales des P. et Ch.*, Mémoires. — 7e série, 3e année, 8e cahier, tome X, page 126.

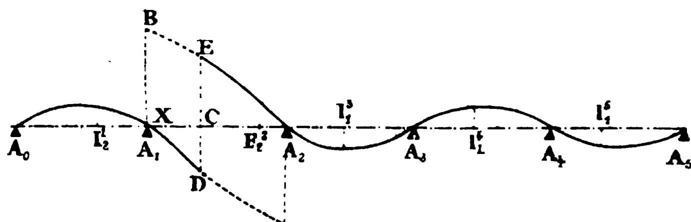
EA′ représente la ligne d'influence de l'effort lorsque le mobile est après la section C, c'est-à-dire lorsque $x > X$.

L'équation de la ligne d'influence a pour valeur :

$$y = -\frac{x}{l} \qquad \text{pour} \qquad x < X$$

$$Y = 1 - \frac{x}{l} \qquad \text{pour} \qquad x > X$$

Dans une poutre continue, lorsque le mobile est dans la même travée que la section, la ligne d'influence de l'effort tranchant présente une figure analogue.



Le mobile étant sur la deuxième travée, la ligne d'influence de l'effort tranchant pour la section C placée dans la même travée est A_1D si $x < X$, et EA_2 si $x > X$, seulement les équations sont du troisième degré en $\frac{x}{l}$, c'est-à-dire que l'on a :

$$y = A\frac{x}{l} + B\frac{x^2}{l^2} + C\frac{x^3}{l^3} \qquad \text{lorsque} \qquad x < X$$

$$Y = 1 + A\frac{x}{l} + B\frac{x^2}{l^2} + C\frac{x^3}{l^3} \qquad \text{lorsque} \qquad x > X$$

Si le mobile se trouve sur une travée autre que celle correspondant à la section, les lignes d'influence présentent la forme indiquée par la figure.

Entre A_2 et A_3 l'équation de la courbe est du troisième degré, et l'ordonnée maximum correspond au point d'in-

fluence I_1^3; entre A_3 et A_4 l'équation est également du troisième degré et l'ordonnée maximum correspond à I_1^4; il en est de même entre A_4 et A_5.

Entre A_1 et A_0, équation du troisième degré, ordonnée maximum correspondant à I_2^1.

Afin de distinguer les lignes d'influence, nous affecterons la lettre y aux lignes d'influence de l'effort tranchant, lorsque le mobile est avant la section, et Y lorsque le mobile est après la section.

Un indice inférieur fera connaître le numéro d'ordre de la travée dans laquelle se trouve la section.

Un exposant fera connaître la travée dans laquelle se trouve le mobile, exemples :

y_1^1 indique que la section et le mobile sont dans la première travée et qu'en outre le mobile est avant la section.

Y_1^1 indique que la section et le mobile sont dans la première travée et que le mobile est après la section.

y_2^1 Section dans la deuxième travée, mobile dans la première.

Y_2^3 Section dans la deuxième travée, mobile dans la troisième.

Lignes d'influence du moment fléchissant.

La ligne d'influence du moment fléchissant pour une section déterminée, dans le cas d'une poutre reposant sur deux appuis, a la disposition suivante (Voir première partie, page 133).

Les équations de ces lignes sont :

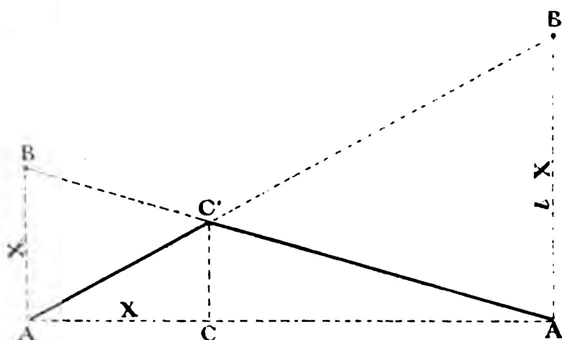
De A à C $\quad m = x \dfrac{(l - X)}{l} \quad x < X$

De C à A' $\quad m = \dfrac{X}{l}(l - x) \quad x > X$

Ces relations peuvent s'écrire :

De A à C $\frac{m}{l} = \frac{x}{l}\left(1 - \frac{X}{l}\right) = -y\left(1 - \frac{X}{l}\right) = y\frac{X}{l} + \frac{x}{l}$

De C à A' $\frac{m}{l} = \frac{X}{l}\left(1 - \frac{x}{l}\right) = Y\frac{X}{l}$

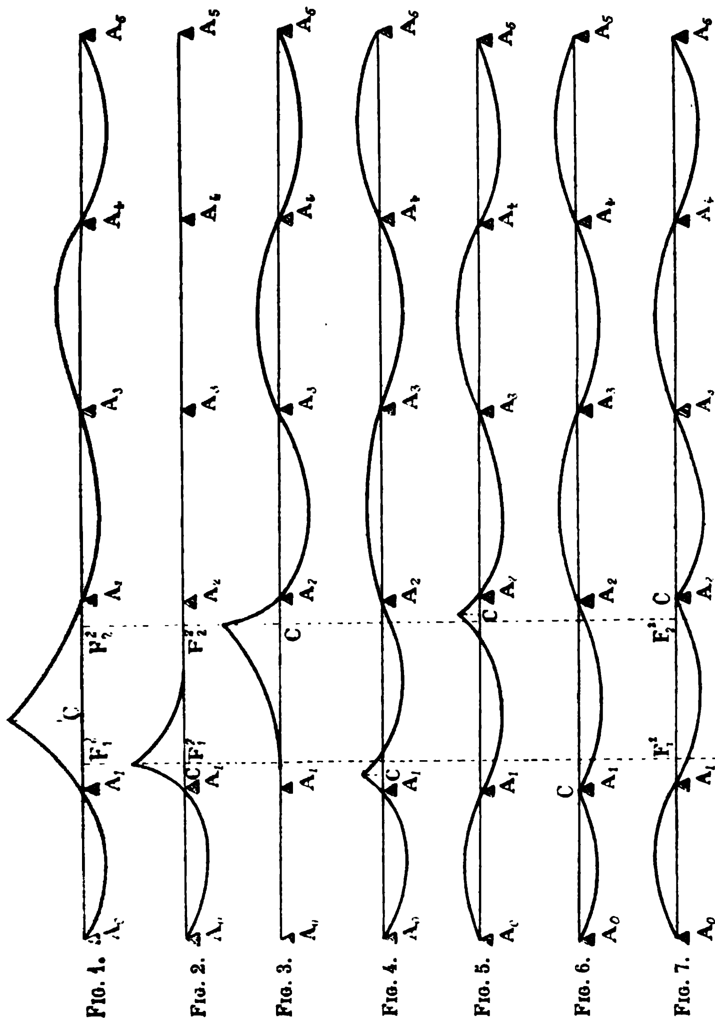


y représente l'ordonnée de la ligne d'influence de l'effort tranchant pour $x < X$, et Y l'ordonnée de la ligne d'influence de l'effort tranchant pour $x > X$.

S'il s'agit d'une poutre continue et si le mobile et la section sont dans la même travée, la forme de la ligne d'influence est celle indiquée page 97 (*fig.* 1), lorsque la section se trouve entre les deux foyers en C ; et l'on voit que l'ordonnée maximum correspond à la section, comme dans le cas des poutres reposant sur deux appuis. Les ordonnées des lignes d'influence, lorsque les charges sont sur l'une des deux travées voisines, sont négatives ainsi que sur la cinquième ; elles sont au contraire positives lorsque la charge se trouve sur la quatrième travée ; et si l'on devait charger l'ouvrage avec un train, il faudrait, pour avoir le moment maximum positif, placer les plus lourdes charges sur la travée correspondant à la section.

Si la section correspond au foyer de gauche F_1^2, les lignes d'influence, lorsque le mobile se trouve sur les travées à droite, ont des ordonnées nulles (*fig.* 2).

Si la section correspond au foyer de droite F_2^2, les ordonnées sont nulles dans l'étendue de la première travée (*fig.* 3).



Si la section est placée en C entre l'appui A_1 et le foyer

de gauche, la ligne d'influence présente la disposition indiquée (*fig.* 4), et si elle se trouve entre le foyer de droite et l'appui A_2 celle de la *fig.* 5.

La ligne d'influence correspondant à l'appui A_1 est représentée par la *fig.* 6 et celle correspondant à l'appui A_2 par la *fig.* 7.

Sauf dans le cas des sections correspondant aux appuis, les lourdes charges doivent toujours être placées dans la travée correspondant à la section lorsqu'il s'agit des moments positifs, et dans l'une des travées voisines s'il s'agit des ordonnées négatives. Sur les autres travées se trouveront, suivant le cas, des wagons pleins ou des wagons vides, à moins qu'il y ait intérêt à ne pas les charger.

Lorsqu'une travée doit être chargée exclusivement de wagons, on peut substituer aux charges discontinues une charge uniformément répartie de 1.333 kilogrammes par mètre courant de file de rails s'il s'agit de wagons pleins, et de 250 kilogrammes s'il sagit de wagons vides.

Charges uniformément réparties.

Les relations qui permettent de calculer les efforts tranchants et moments fléchissants dans le cas des charges uniformément réparties sont bien connues, et nous nous bornerons à rappeler dans chaque cas ces relations.

OBSERVATION.

Dans toutes les relations, même lorsqu'il s'agit des travées extrêmes, l représente la longueur de la deuxième travée ou des travées centrales.

Charges discontinues.

Forme des équations des lignes d'influence. — Les courbes représentatives des lignes d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant pour les poutres continues des types mentionnés dans le présent rapport sont des paraboles du troisième degré, dont les équations peuvent être mises sous la forme suivante :

$$y = A + B\frac{x}{l} + C\frac{x^2}{l^2} + D\frac{x^3}{l^3}.$$

Le coefficient A est toujours égal à zéro ou à + 1, et, lorsque l'on connaît les propriétés des lignes d'influence, on peut écrire ce terme *a priori*.

Poutres à deux travées.

Équations générales. — S'il s'agit de poutres à deux travées solidaires, en désignant par α le rapport de la longueur de la première travée à la longueur de la seconde,



on peut exprimer B, C et D en fonction de α, et les relations ne sont pas trop compliquées.

Réaction des appuis. — Soient S_0^1, S_1^1, S_2^1 les réactions des appuis A_0, A_1 et A_2 lorsque le mobile se trouve sur la première travée ;

S_0^2, S_1^2, S_2^2 les réactions des appuis lorsque le mobile se trouve sur la deuxième travée.

On aura les relations suivantes :

$$S_0^1 = 1 - \frac{3\alpha + 2}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_1}{l} + \frac{1}{2\alpha^2(\alpha + 1)} \frac{x_1^3}{l^3},$$

$$S_1^1 = \quad + \frac{\alpha + 2}{2\alpha} \frac{x_1}{l} - \frac{1}{2\alpha^2} \frac{x_1^3}{l^3},$$

$$S_2^1 = \quad - \frac{\alpha}{2(\alpha + 1)} \frac{x_1}{l} + \frac{1}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_1^3}{l^3},$$

$$S_0^2 = \quad - \frac{2}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_2}{l} + \frac{3}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_2^2}{l^2} - \frac{1}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_2^3}{l^3},$$

$$S_1^2 = 1 + \frac{2(1 - \alpha)}{2\alpha} \frac{x_2}{l} - \frac{3}{2\alpha} \frac{x_2^2}{l^2} + \frac{1}{2\alpha} \frac{x_2^3}{l^3},$$

$$S_2^2 = \quad + \frac{2\alpha}{2(\alpha + 1)} \frac{x_2}{l} + \frac{3}{2(\alpha + 1)} \frac{x_2^2}{l^2} - \frac{1}{2(\alpha + 1)} \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Lorsque l'on connaît les réactions des appuis, on obtient sans difficulté les équations des lignes d'influence des efforts tranchants et des moments fléchissants.

Efforts tranchants. — Section dans la première travée, mobile sur la première travée, *avant* la section

$$y_1^1 = S_0^1 - 1 = - \frac{3\alpha + 2}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_1}{l} + \frac{1}{2\alpha^2(\alpha + 1)} \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la première travée, mobile sur la première travée, *après* la section

$$Y_1^1 = S_0^1 = 1 - \frac{3\alpha + 2}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_1}{l} + \frac{1}{2\alpha^2(\alpha + 1)} \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la deuxième travée, mobile sur la première travée

$$y_2^1 = S_0^1 + S_1^1 - 1 = - S_2^1 = + \frac{\alpha}{2(\alpha + 1)} \frac{x_1}{l} - \frac{1}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la première travée, mobile sur la deuxième travée

$$Y_1^2 = S_0^2 = - \frac{2}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_2}{l} + \frac{3}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_2^2}{l^2} - \frac{1}{2\alpha(\alpha + 1)} \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la deuxième travée, mobile sur la deuxième travée, *avant* la section

$$y_2^2 = S_0^2 + S_1^2 - 1 = -S_2^2 = -\frac{2\alpha}{2(\alpha+1)}\frac{x_2}{l} - \frac{3}{2(\alpha+1)}\frac{x_2^2}{l^2} + \frac{1}{2(\alpha+1)}\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la deuxième travée, mobile sur la deuxième travée, *après* la section

$$Y_2^2 = S_0^2 + S_1^2 = 1 - S_2^2 = 1 - \frac{2\alpha}{2(\alpha+1)}\frac{x_2}{l} - \frac{3}{2(\alpha+1)}\frac{x_2^2}{l^2} + \frac{1}{2(\alpha+1)}\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants. — Section dans la première travée, mobile sur la première travée, *avant* la section

$$\frac{1}{l} m_1^1 = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la première travée, mobile sur la première travée, *après* la section

$$\frac{1}{l} M_1^1 = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Moment sur la pile, mobile sur la première travée

$$\frac{1}{l} m_P^1 = \alpha y_1^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la deuxième travée, mobile sur la première travée

$$\frac{1}{l} m_2^1 = \frac{1}{l} m_P^1 + y_2^1 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la première travée, mobile sur la deuxième travée

$$\frac{1}{l} M_1^2 = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Moment sur pile, mobile sur la deuxième travée

$$\frac{1}{l} M_P^2 = \alpha Y_1^2.$$

Section dans la deuxième travée, mobile sur la deuxième travée, *avant* la section

$$\frac{1}{l} m_2{}^2 = \frac{1}{l} M_P{}^2 + y_2{}^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la deuxième travée, mobile sur la deuxième travée, *après* la section

$$\frac{1}{l} M_2{}^2 = \frac{1}{l} M_P{}^2 + Y_2{}^2 \frac{X_2}{l}.$$

Foyers. — Lorsque l'on possède les équations des lignes d'influence des moments fléchissants, on peut obtenir sans difficulté les distances des foyers et des points d'influence aux appuis, en s'appuyant sur les propriétés des lignes d'influence.

La courbe $\frac{1}{l} m_1{}^1 = y_1{}^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}$ est tangente à l'axe des abscisses pour $x_1 = o$, lorsque X_1 correspond au foyer de la première travée.

On a donc :

$$\frac{X_1}{l} \frac{dy_1{}^1}{dx_1} + \frac{1}{l} = o \qquad \text{pour} \qquad x_1 = o \qquad \text{et} \qquad X_1 = F_2{}^1,$$

$$\frac{dy_1{}^1}{dx_1} = - \frac{3\alpha + 2}{2\alpha(\alpha + 1)} \qquad \text{pour} \qquad x_1 = o.$$

On trouve ainsi :

$$F_2{}^1 = \frac{2\alpha(\alpha + 1)}{3\alpha + 2} l.$$

De même la courbe $\frac{1}{l} M_2{}^2$ est tangente à l'axe des abscisses lorsque X_2 correspond au foyer de la deuxième

travée et que $x_2 = l$, par suite :

$$\frac{X_2}{l}\frac{dY_2^2}{dx_2} + \frac{\alpha\, dY_2^1}{dx_2} = 0 \quad \text{pour} \quad x_2 = l \quad \text{et} \quad X_2 = F_1^2$$

$$\frac{X_2}{l}\left(-\frac{2\alpha}{2(\alpha+1)l} - \frac{6}{2(\alpha+1)l} + \frac{3}{2(\alpha+1)l}\right)$$

$$+\alpha\left(-\frac{2}{2\alpha(\alpha+1)l} + \frac{6}{2\alpha(\alpha+1)l} - \frac{3}{2\alpha(\alpha+1)l}\right) = 0.$$

$$\frac{X_2}{l}(-2\alpha - 6 + 3) = (2 - 6 + 3)$$

$$\frac{X_2}{l} = \frac{1}{2\alpha+3}$$

$$F_1^2 = \frac{1}{2\alpha+3}\, l.$$

Points d'influence. — De même on obtient les points d'influence en égalant à zéro ies dérivées de m_P^1 et de M_P^2, et l'on trouve :

$$\alpha\left[-\frac{3\alpha+2}{2\alpha(\alpha+1)l} + \frac{3x^2}{2\alpha(\alpha+1)l^3}\right] + \frac{1}{l} = 0$$

$$x = I_2^1 = \frac{\alpha l}{\sqrt{3}}$$

$$-\frac{2}{2\alpha(\alpha+1)l} + \frac{6}{2\alpha(\alpha+1)}\frac{x}{l^2} - \frac{3}{2\alpha(\alpha+1)}\frac{x^2}{l^3} = 0$$

$$x = I_1^2 = l\left(1 - \sqrt{\frac{1}{3}}\right).$$

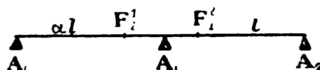
Poutres ayant plus de deux travées.

Lorsque le nombre des travées est supérieur à 2, les coefficients B, C et D sont laborieux à déterminer en fonction de α, mais on peut les exprimer très simplement en fonction des distances des foyers aux appuis.

Relations faisant connaître la position des foyers. — M. Maurice Lévy, dans sa *Statique graphique*, deuxième édition, deuxième partie, page 228, donne des relations qui permettent d'obtenir *a priori* les distances des foyers aux appuis dans le cas des poutres dont nous nous occu-

pons. En adoptant les notations du rapport et tenant compte pour le cas de deux travées des relations mentionnées ci-dessus, on trouve

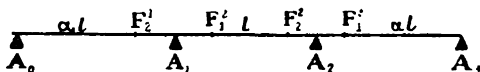
Cas de deux travées.



$F_1^1 = o$ $\qquad$ $F_2^1 = \frac{2\alpha(\alpha+1)}{3\alpha+2} l$

$F_1^2 = \frac{1}{2\alpha+3} l$ $\qquad$ $F_2^2 = l.$

Cas de trois travées.



$F_1^1 = o$ $\qquad$ $F_2^1 = \alpha l - F_1^3$

$F_1^2 = \frac{1}{2(1+\alpha)+1} l$ $\qquad$ $F_2^2 = l - F_1^2$

$F_1^3 = \frac{2\alpha^2(1+\alpha)}{6\alpha^2+10\alpha+3} l$ $\qquad$ $F_2^3 = \alpha l.$

Cas de quatre travées.

$F_1^1 = o$ $\qquad$ $F_2^1 = \alpha l - F_1^4$

$F_1^2 = \frac{1}{2(1+\alpha)+1} l$ $\qquad$ $F_2^2 = l - F_1^3$

$F_1^3 = \frac{2(1+\alpha)}{10(1+\alpha)-1} l$ $\qquad$ $F_2^3 = l - F_1^2$

$F_1^4 = \frac{\alpha^2[8(1+\alpha)-1]}{[8(1+\alpha)-1](3\alpha+2)-2(1+\alpha)} l$ $\qquad$ $F_2^4 = \alpha l.$

Cas de cinq travées.

$F_1^1 = o$ $\qquad$ $F_2^1 = \alpha l - F_1^5$

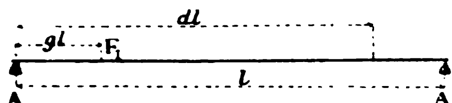
$F_1^2 = \frac{1}{2(1+\alpha)+1} l$ $\qquad$ $F_2^2 = l - F_1^4$

$F_1^3 = \frac{2(1+\alpha)}{10(1+\alpha)-1}$ $\qquad$ $F_2^3 = l - F_1^3$

$F_1^4 = \frac{8(1+\alpha)-1}{38(1+\alpha)-5}$ $\qquad$ $F_2^4 = l - F_1^2$

$F_1^5 = \frac{\alpha^2[30(1+\alpha)-4]}{[30(1+\alpha)-4](3\alpha+2)-8(1+\alpha)+1}$ $\qquad$ $F_2^5 = \alpha l.$

Équations des lignes d'influence en fonctions des distances focales. — Considérons une travée quelconque reposant sur deux appuis A et A′ et faisant partie d'une poutre continue :



Soient :

l la portée,
gl la distance du foyer F_1 à l'appui A,
dl la distance du foyer F_2 au même appui,
y l'ordonnée de la ligne d'influence de l'effort tranchant, correspondant à la section dont l'abscisse est X, pour une position du mobile définie par l'abscisse $x < X$,
Y l'effort tranchant dans la section X, lorsque $x > X$;
M_p le moment de flexion sur l'appui A pour une position du mobile définie par l'abscisse x,
m'_p le moment de flexion sur l'appui A′ pour une position du mobile définie par l'abscisse x,
m le moment de flexion correspondant à la section X, pour une position du mobile définie par l'abscisse x; $x < X$,
M le moment de flexion correspondant à la même section X, lorsque le mobile est après la section, c'est-à-dire lorsque $x > X$.

On peut poser :

$$\frac{1}{l} M_P = A + B\frac{x}{l} + C\frac{x^2}{l^2} + D\frac{x^3}{l^3},$$

et

$$y = A' + B'\frac{x}{l} + C'\frac{x^2}{l^2} + D'\frac{x^3}{l^3}.$$

On sait d'ailleurs *a priori* que A et A′ sont nuls : il reste donc six indéterminées à définir.

Nous exprimerons les conditions suivantes auxquelles doivent satisfaire les relations :

1° $\frac{1}{l}M_P = o$ pour $x = l$;

2° $y = -1$ pour $x = l$;

3° La tangente à la courbe m est horizontale en A lorsque $X = dl$, donc $\frac{dm}{dx} = o$ pour $X = dl$ et $x = o$;

4° La tangente à la courbe M est horizontale en A′ lorsque $X = gl$, donc $\frac{dM}{dx} = o$ pour $X = gl$ et $x = l$;

5° La courbe M_P présente un point d'inflexion pour $x = dl$, donc $\frac{d^2M_P'}{dx^2} = o$ pour $x = dl$;

6° La courbe m_P' présente un point d'inflexion lorsque $x = gl$, donc $\frac{d^2m_P'}{dx^2} = o$ pour $x = gl$.

Écrivons les valeurs de m, M et m_P'

$$\frac{1}{l}m = \frac{1}{l}M_P + y\frac{X}{l} + \frac{x}{l} = (B+1)\frac{x}{l} + C\frac{x^2}{l^2} + D\frac{x^3}{l^3} + \frac{X}{l}\left(B'\frac{x}{l} + C'\frac{x^2}{l^2} + D'\frac{x^3}{l^3}\right)$$

$$\frac{1}{l}M = \frac{1}{l}M_P + (y+1)\frac{X}{l} = B\frac{x}{l} + C\frac{x^2}{l^2} + D\frac{x^3}{l^3} + \frac{X}{l}\left(1 + B'\frac{x}{l} + C'\frac{x^2}{l^2} + D'\frac{x^3}{l^3}\right)$$

$$\frac{1}{l}m_P' = \frac{1}{l}M_P + y + \frac{x}{l} = (B + B' + 1)\frac{x}{l} + (C + C')\frac{x^2}{l^2} + (D + D')\frac{x^3}{l^3}.$$

Les six relations nécessaires pour déterminer B, B′, C, C′, D et D′ seront les suivantes :

1° $B + C + D = o$;
2° $B' + C' + D' = -1$;
3° $(B + 1) + B'd = o$;
4° $B + 2C + 3D + g(B' + 2C' + 3D') = o$;
5° $2C + 6Dd = o$;
6° $2(C + C') + 6(D + D')g = o$.

De ces relations on déduit :

$$B = -\frac{g}{d-g}(3d-1), \qquad C = +\frac{3gd}{d-g} \qquad D = -\frac{g}{d-g}$$

$$B' = -\frac{1-3g}{d-g}, \qquad C' = -\frac{3g}{d-g} \qquad D' = +\frac{1-d+g}{d-g}.$$

Il est à remarquer que le dénominateur est partout égal au rapport de la distance qui sépare les foyers à la portée l.

On peut écrire alors :

$$\frac{1}{l}m_P = -\frac{g}{d-g}(3d-1)\frac{x}{l} + \frac{3gd}{d-g}\frac{x^2}{l^2} - \frac{g}{d-g}\frac{x^3}{l^3}$$

$$y = -\frac{1-3g}{d-g}\frac{x}{l} - \frac{3g}{d-g}\frac{x^2}{l^2} + \frac{1-d+g}{d-g}\frac{x_3}{l^3},$$

s'il s'agit de la première travée $g = 0$, $m_P = 0$, et l'on a, en donnant à l la valeur de la longueur d'une travée centrale,

$$y_1{}^1 = -\frac{1}{d}\frac{x}{l} + \frac{\alpha - d}{d}\cdot\frac{x^3}{\alpha^3 l^3}.$$

Ces relations permettent d'obtenir toutes les équations des lignes d'influence de l'effort tranchant, du moment fléchissant et des moments sur pile.

Prenons pour exemple une poutre à cinq travées.

Nous affecterons les lettres d et g d'un indice indiquant le numéro d'ordre de la travée à laquelle ils appartiennent.

Nous avons alors :

Équations générales des lignes d'influence dans le cas de cinq travées. — 1° Effort tranchant pour une section de la première travée, le mobile étant sur la première travée, *avant* la section

$$y_1{}^1 = -\frac{1}{d_1}\frac{x_1}{l} + \frac{\alpha - d_1}{d_1}\frac{x_1{}^3}{\alpha^3 l^3};$$

2° Effort tranchant pour une section de la première travée, lorsque le mobile se trouve sur la première travée, *après* la section

$$Y_1{}^1 = 1 + y_1{}^1 ;$$

3° Moment sur la pile 1, lorsque le mobile est sur la première travée

$$\frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 = \alpha y_1{}^1 + \frac{x_1}{l} ;$$

4° Moment de flexion pour une section de la première travée dont l'abscisse est X_1, le mobile étant sur la première travée, *avant* la section

$$\frac{1}{l} m_1{}^1 = y_1{}^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l} ;$$

5° Moment de flexion pour une section de la première travée dont l'abscisse est X_1, le mobile étant sur la première travée, *après* la section

$$\frac{1}{l} M_1{}^1 = Y_1{}^1 \frac{X_1}{l} ;$$

6° Moment de flexion sur la pile 2, le mobile étant sur la première travée

$$\frac{1}{l} m_{P_2}{}^1 = - \frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 \frac{1 - d_2}{d_2} ;$$

7° Moment de flexion sur la pile 3, le mobile étant dans la première travée.

$$\frac{1}{l} m_{P_3}{}^1 = + \frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 \frac{(1 - d_2)(1 - d_3)}{d^2 d_3} ;$$

8° Moment de flexion sur la pile 4, le mobile étant sur la première travée

$$\frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 = - \frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 \frac{(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4)}{d_2 d_3 d^4} ;$$

9° Effort tranchant dans une section de la deuxième travée, le mobile étant sur la première travée

$$y_2{}^1 = \frac{1}{l}\, m_{P_2}{}^1 - \frac{1}{l}\, m_{P_1}{}^1 = -\frac{1}{l}\, m_{P_1}{}^1\, \frac{1}{d_2};$$

10° Effort tranchant dans une section de la troisième travée, le mobile étant sur la première travée

$$y_3{}^1 = \frac{1}{l}\, m_{P_3}{}^1 - \frac{1}{l}\, m_{P_2}{}^1 = -\frac{1}{l}\, m_{P_2}{}^1\, \frac{1}{d_3};$$

11° Effort tranchant dans une section de la quatrième travée, le mobile étant sur la première travée

$$y_4{}^1 = \frac{1}{l}\, m_{P_4}{}^1 - \frac{1}{l}\, m_{P_3}{}^1 = -\frac{1}{l}\, m_{P_3}{}^1\, \frac{1}{d_4};$$

12° Effort tranchant dans une section de la cinquième travée, le mobile étant sur la première travée

$$y_5{}^1 = -\frac{1}{al}\, m_{P_4}{}^1;$$

13° Moment de flexion pour une section de la deuxième travée dont l'abscisse est X_2, le mobile étant sur la première travée

$$\frac{1}{l}\, m_2{}^1 = \frac{1}{l}\, m_{P_1}{}^1 + y_2{}^1\, \frac{X_2}{l};$$

14° Moment de flexion pour une section de la troisième travée dont l'abscisse est X_3, le mobile étant sur la première travée

$$\frac{1}{l}\, m_3{}^1 = \frac{1}{l}\, m_{P_2}{}^1 + y_3{}^1\, \frac{X_3}{l}.$$

Relations semblables pour les sections des quatrième et cinquième travées.

Si le mobile est dans la deuxième travée, on a :

1° Effort tranchant pour une section de la deuxième travée, le mobile étant sur la deuxième travée, *avant* la

section

$$y_2^2 = -\frac{1 - 3g_2}{d_2 - g_2}\frac{x_2}{l} - \frac{3g_2}{d_2 - g_2}\frac{x_2^2}{l^2} + \frac{1 - d_2 + g_2}{d_2 - g_2}\frac{x_2^3}{l^3};$$

2° Effort tranchant pour une section de la deuxième travée, le mobile étant sur la deuxième travée, *après* la section

$$Y_2^2 = 1 + y_2^2;$$

3° Moment de flexion sur la pile 1, le mobile étant sur la deuxième travée

$$\frac{1}{l}M_{P_1}^2 = -\frac{g_2(3d_2 - 1)}{d_2 - g_2}\frac{x_2}{l} + \frac{3g_2d_2}{d_2 - g_2}\frac{x_2^2}{l^2} - \frac{g_2}{d_2 - g_2}\frac{x_2^3}{l^3};$$

4° Effort tranchant pour une section de la première travée, le mobile étant sur la deuxième travée

$$Y_1^2 = \frac{1}{al}M_{P_1}^2;$$

5° Moment de flexion sur la pile 2, le mobile étant sur la deuxième travée

$$\frac{1}{l}m_{P_2}^2 = \frac{1}{l}M_{P_1}^2 + y_2^2 + \frac{x_2}{l};$$

6° Moment sur pile 3, mobile sur la deuxième travée

$$\frac{1}{l}m_{P_3}^2 = -\frac{1}{l}m_{P_2}^2\frac{1 - d_3}{d_3};$$

7° Moment sur pile 4, mobile sur la deuxième travée

$$\frac{1}{l}m_{P_4}^2 = +\frac{1}{l}m_{P_2}^2\frac{(1 - d_3)(1 - d_4)}{d_3d_4};$$

8° Moment de flexion pour une section de la première travée, le mobile étant sur la deuxième travée

$$\frac{1}{l}M_1^2 = Y_1^2\frac{X_1}{l};$$

9° Moment de flexion pour une section de la deuxième travée, le mobile étant sur la deuxième travée, *avant* la section

$$\frac{1}{l}\, m_2^2 = \frac{1}{l}\, M_{P_1}^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l};$$

10° Moment de flexion pour une section de la deuxième travée, le mobile étant sur la deuxième travée, *après* la section

$$\frac{1}{l}\, M_2^2 = \frac{1}{l}\, M_{P_1}^2 + Y_2^2 \frac{X_2}{l};$$

11° Effort tranchant pour une section de la troisième travée, le mobile étant sur la deuxième

$$y_3^2 = -\frac{1}{l}\, m_{P_2}^2 \frac{1}{d_3};$$

On trouve de même :

12° $$y_4^2 = -\frac{1}{l}\, m_{P_3}^2 \frac{1}{d_4};$$

13° $$y_5^2 = -\frac{1}{\alpha l}\, m_{P_4}^2;$$

14° Moment de flexion pour une section de la troisième travée, mobile sur la deuxième

$$\frac{1}{l}\, m_3^2 = \frac{1}{l}\, m_{P_2}^2 + y_3^2 \frac{X_3}{l};$$

de même :

15° $$\frac{1}{l}\, m_4^2 = \frac{1}{l}\, m_{P_3}^2 + y_4^2 \frac{X_4}{l};$$

16° $$\frac{1}{l}\, m_5^2 = \frac{1}{l}\, m_{P_4}^2 + y_5^2 \frac{X_5}{l}.$$

Si le mobile est sur la troisième travée, on trouve les sulutions ci-après :

Pour abréger, nous ne définirons pas les divers cas, nous rappellerons seulement que les lettres minuscules indiquent que le mobile est *avant* la section, les lettres majuscules que le mobile est *après* la section.

L'indice inférieur indique la travée dans laquelle se trouve la section, et l'indice supérieur la travée dans laquelle se trouve le mobile, sauf en ce qui concerne x, pour lequel l'indice inférieur indique la travée sur laquelle se trouve le mobile :

1° $y_3^3 = -\frac{1 - 3g_3}{d_3 - g_3}\frac{x_3}{l} - \frac{3g_3}{d_3 - g_3}\frac{x_3^2}{l^2} + \frac{1 - d_3 + g_3}{d_3 - g_3}\frac{x_3^3}{l^3};$

2° $\frac{1}{l} M_{P_2}^3 = -\frac{g_3(3d_3 - 1)}{d_3 - g_3}\frac{x_3}{l} + \frac{3g_3 d_3}{d_3 - g_3}\frac{x_3^2}{l^2} - \frac{g_3}{d_3 - g_3}\frac{x_3^3}{l^3};$

3° $Y_3^3 = 1 + y_3^3;$

4° $\frac{1}{l} M_{P_1}^3 = -\frac{1}{l} M_{P_2}^3 \frac{g_2}{1 - g_2};$

5° $Y_1^3 = \frac{1}{\alpha l} M_{P_1}^3;$

6° $Y_2^3 = \frac{1}{l} M_{P_2}^3 \frac{1}{1 - g_2};$

7° $\frac{1}{l} m_{P_3}^3 = \frac{1}{l} M_{P_2}^3 + y_3^3 + \frac{x_3}{l};$

8° $\frac{1}{l} m_{P_4}^3 = -\frac{1}{l} m_{P_3}^3 \frac{1 - d_4}{d_4};$

9° $y_4^3 = -\frac{1}{l} M_{P_3}^3 \frac{1}{d_4};$

10° $y_5^3 = -\frac{1}{\alpha l} m_{P_4}^3;$

11° $\frac{1}{l} M_1^3 = Y_1^3 \frac{X_1}{l};$

12° $\frac{1}{l} M_2^3 = \frac{1}{l} M_{P_1}^3 + Y_2^3 \frac{X_2}{l};$

13° $\frac{1}{l} m_3^3 = \frac{1}{l} M_{P_2}^3 + y_3^3 \frac{X_3}{l} + \frac{x_3}{l};$

14° $\frac{1}{l} M_3^3 = \frac{1}{l} M_{P_2}^3 + Y_3^3 \frac{X_3}{l};$

15° $\frac{1}{l} m_4^3 = \frac{1}{l} M_{P_3}^3 + y_4^3 \frac{X_4}{l};$

16° $\frac{1}{l} m_5^3 = \frac{1}{l} M_{P_4}^3 + y_5^3 \frac{X_5}{l}.$

On voit que les équations des lignes d'influence sont faciles à déterminer lorsque les poutres appartiennent

aux types définis dans le présent rapport, c'est-à-dire lorsqu'elles se composent de deux travées, ou de plus de deux travées avec les conditions que les deux travées extrêmes soient égales entre elles, les travées centrales étant toutes égales et les appuis de niveau.

Relations reliant les points d'influence aux foyers. — On peut déterminer au moyen des lignes d'influence les relations qui relient les points d'influence aux foyers.

Pour la première travée le point d'influence correspond au point le plus bas de la courbe $m_{P_1}{}^1$, qui a pour expression :

$$m_{P_1}{}^1 = -\frac{\alpha}{d_1} x_1 + \frac{\alpha - d_1}{\alpha^2 d_1} \frac{x_1{}^3}{l^2} + x_1,$$

Égalant la dérivée à zéro

$$-\alpha + \frac{3(\alpha - d_1)}{\alpha^2} \frac{x^2}{l^2} - d_1 = 0,$$

$$-1 + 3\frac{x^2}{\alpha^2 l^2} = 0,$$

$$x = \frac{\alpha l}{\sqrt{3}} = I_2{}^1.$$

Pour les autres travées, on obtient I_1, en égalant à zéro la dérivée de m_{P_1}, et I_2, en égalant à zéro la dérivée de M_{P_2}

$$m_{P_1} = -\frac{g(3d-1)}{d-g} x + \frac{3gd}{d-g} \frac{x^2}{l} - \frac{g}{d-g} \frac{x^3}{l^2},$$

$$M_{P_2} = + \frac{(1-d)(3g-1)}{d-g} x - \frac{3g(1-d)}{d-g} \frac{x^2}{l} + \frac{1-d}{d-g} + \frac{x^3}{l^2}.$$

La dérivée de m_{P_1} donne :

$$3d - 1 + 6d\frac{x}{l} - 3\frac{x^2}{l^2} = 0,$$

$$\frac{x}{l} = I_1 = l\left(d - \sqrt{d^2 - d + \frac{1}{3}}\right).$$

La dérivée de M_{p_2} donne :

$$3g - 1 - 6g\frac{x}{l} + \frac{3x_2}{l^2} = o,$$

$$x = l_2 = l\left(g + \sqrt{g^2 - g + \frac{1}{3}}\right).$$

Relations faisant connaître les efforts tranchants et moments fléchissants en fonction des distances focales et du rapport α, dans le cas des charges uniformément réparties. — On peut au moyen des lignes d'influence déterminer les valeurs de l'effort tranchant, du moment fléchissant et des moments sur pile, dans le cas d'une travée uniformément chargée sur toute sa longueur, ou seulement sur une partie de sa longueur ; il suffit, pour obtenir l'effort ou le moment cherché, de multiplier l'équation par pdx, p étant la charge uniformément répartie, et d'intégrer entre les limites de la partie chargée.

Prenons pour exemple le moment sur la pile n° 1, lorsque la deuxième travée est seule chargée sur toute son étendue.

On aura

$$\mu_{P_1}{}^2 = \int_0^l \left(-\frac{g(3d-1)}{d-g}x + \frac{3gd}{(d-g)}\frac{x^2}{l} - \frac{g}{(d-g)}\frac{x^3}{l^2}\right)pdx,$$

$$\mu_{P_1}{}^2 = \left(-\frac{g(3d-1)}{d-g}\frac{l^2}{2} + \frac{gd}{d-g}l^2 - \frac{g}{d-g}\frac{l^2}{4}\right)p,$$

$$\mu_{P_1}{}^2 = -\frac{g(2d-1)}{4(d-g)}pl^2.$$

Les relations sont en définitive les suivantes :

$$T_1{}^1 = \int_0^{\alpha l} Y_1{}^1 p_1 dx - \int_1^X p_1 dx = +\frac{\alpha(3d_1-\alpha)}{4d_1}p_1 l - p_1 X_1,$$

$$\mu_{P_1}{}^1 = -\frac{\alpha^2(\alpha-d_1)}{4d_1}pl^2,$$

$$T_2^2 = \int_0^l y_2^2 p dx + p_2 l - p_2 X_2 = - \frac{1 + g_2 - 3d_2}{4(d_2 - g_2)} p_2 l - P_2 X_2,$$

$$\mu p_1^2 = \int_0^l m_P = - \frac{g_2 (2d_2 - 1)}{4(d_2 - g_2)} p_2 l^2,$$

$$\mu p_2^2 = \int_0^l \left[\frac{(1-d_2)(3g_2-1)}{d_2 - g^2} x - \frac{3g_2(1-d_2)}{d_2 - g_2} \frac{x_2}{l} + \frac{(1-d_2)}{d_2 - g^2} \frac{x^3}{l^2} \right] p_2 dx,$$

$$\mu p_2^2 = + \frac{(1 - d_2)(2g_2 - 1)}{4(d_2 - g_2)} p_2 l^2.$$

Les relations relatives aux autres travées, sauf la dernière, sont exactement les mêmes, les indices de g et d étant seuls à modifier.

Les cinq équations qui précèdent permettent de déterminer les relations relatives à l'effort tranchant aux moment fléchissants et aux moments sur pile dans le cas des charges uniformes.

Ces relations sont :

$$\left.\begin{array}{ll} (1) & T_1^1 = \dfrac{\alpha(3d_1 - \alpha)}{4d_1} p_1 l - p_1 X_1 \\ (2) & \mu p_1^1 = - \dfrac{\alpha^2 (\alpha - d_1)}{4d_1} p l^2 \end{array}\right\} \quad d_1 = \frac{F_2^1}{l},$$

$$\left.\begin{array}{ll} (3) & \mu p_{i-1}^i = - \dfrac{g_i(2d_i - 1)}{4(d_i - g_i)} p_i l^2 \\ (4) & T_i^i = \dfrac{3d_i - 1 - g_i}{4(d_i - g_i)} p_i l - p_i X_i \\ (5) & \mu p_i^i = \dfrac{(1 - d_i)(2g_i - 1)}{4(d_i - g_i)} p_i l^2 \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} d_i = \dfrac{F_2^i}{l} \\ g_i = \dfrac{F_1^i}{l}. \end{array}$$

Paris, le 19 février 1897.

Usage des barèmes ou tables numériques.

Les barêmes qui suivent font connaître la position des foyers et points d'influence pour les poutres continues à 2, 3, 4 et 5 travées, lorsque ces poutres satisfont aux conditions déterminées :

1° Par le titre placé en tête de chaque paragraphe ;

2° Par la valeur de α, qui représente le rapport de la longueur de la première travée à celle de la seconde.

Ils donnent l'effort tranchant et le moment fléchissant, lorsqu'une ou plusieurs travées sont uniformément chargées, ainsi que les équations des lignes d'influence.

Ils donnent, en outre, les ordonnées des lignes d'influence pour des positions du mobile variant de $\frac{l}{20} = 0{,}05 l$.

Au moyen de ces tables, on peut construire des graphiques semblables aux dessins types, pages 198[bis, ter et quater], et il suffit de placer sur ces graphiques le train dont on veut connaître l'action, en le ramenant à l'échelle $\frac{0{,}20}{l}$ pour 1 mètre, puis de mesurer les ordonnées correspondant aux charges et de les multiplier par les rapports indiqués sur les graphiques, pour connaître l'action (effort tranchant ou moment fléchissant) produite par le train.

Dans toutes les relations, même lorsqu'il s'agit de la première ou de la dernière travée, l représente la longueur de la deuxième travée.

§ 2. — POUTRES REPOSANT SUR TROIS APPUIS.

1er CAS.

2 Travées. $\alpha = 1,00$

Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
F_2^1	$0,80l$	$0,20l$
F_1^2	$0,20l$	$0,80l$

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
I_2^1	$0,42265l$	$0,57735l$
I_1^2	$0,57735l$	$0,42265l$

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^1 = 0,437500\ p_1 l - p_1 X_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^1 = 0,0625\ p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^2 = -\ 0,0625\ p_2 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^2 = +\ 0,5625\ p_2 l - p_2 X_2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = 0,375\ pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = 0,625\ pl - pX_2.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = 0,4375\ p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$

Section dans la 2e travée.

$\mu^1_2 = -\ 0,0625\ p_1 l^2 + 0,0625\ p_1 l X_2.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^2 = -\,0{,}0625\; p_2 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^2 = -\,0{,}0625\; p_2 l^2 + 0{,}5625\; p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}.$$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = 0{,}375\; p l X_1 - p\, \frac{X_2^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = -\,0{,}125\; p l^2 + 0{,}625\; p l X_2 - p\, \frac{X_2^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur la pile.

1re travée seule chargée : $\mu_P^1 = -\,0{,}0625\; p_1 l^2.$

2e travée seule chargée : $\mu_P^2 = -\,0{,}0625\; p_2 l^2.$

Les deux travées également chargées : $\mu_P = -\,0{,}125\; p l^2.$

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -\,1{,}25\,\frac{x_1}{l} + 0{,}25\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1{,}25\,\frac{x_1}{l} + 0{,}25\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = +\,0{,}25\,\frac{x^3}{l^3} - 0{,}25\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -\,0{,}50\,\frac{x_2}{l} + 0{,}75\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}25\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -\,0{,}50\,\frac{x_2}{l} - 0{,}75\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}25\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}50\,\frac{x_2}{l} - 0{,}75\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}25\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = \frac{1}{l} m_P^1 + y_2^1 \frac{x_2}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_P^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

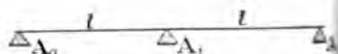
$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_P^2 + Y_2^2 \frac{X_2}{l}.$$

Moments sur pile.

Mobile sur la 1re travée : $\frac{m_P^1}{l} = y_1^1 + \frac{x_1}{l}$.

Mobile sur la 2e travée, $\frac{M_P^2}{l} = Y_1^2$.

EFFORT TRANCHANT.



2 Travées. $\alpha = 1,00$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranch
pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE			MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$			$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$
	$y_1{}^1$	$Y_1{}^1$	$y_2{}^1$	$Y_1{}^2$	$y_2{}^2$	$Y_2{}^2$
0,00	0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000.000
0,05	— 0,062.469	+ 0,937.531	+ 0,012.469	— 0,023.156	— 0,024.844	+ 0,973.156
0,10	— 0,124.750	+ 0,875.250	+ 0,024.750	— 0,042.750	— 0,057.250	+ 0,942.750
0,15	— 0,186.656	+ 0,813.344	+ 0,036.656	— 0,058.968	— 0,091.031	+ 0,908.969
0,20	— 0,248.000	+ 0,752.000	+ 0,048.000	— 0,072.000	— 0,128.000	+ 0,872.000
0,25	— 0,308.594	+ 0,691.406	+ 0,058.594	— 0,082.031	— 0,167.969	+ 0,832.031
0,30	— 0,368.250	+ 0,631.750	+ 0,068.250	— 0,089.250	— 0,210.750	+ 0,789.250
0,35	— 0,426.781	+ 0,573.219	+ 0,076.781	— 0,093.844	— 0,256.156	+ 0,743.844
0,40	— 0,484.000	+ 0,516.000	+ 0.084.000	— 0,096.000	— 0,304.000	+ 0,696.000
0,42265	»	»	»	— **0,096.225**	»	»
0,45	— 0,539.719	+ 0,460.281	+ 0,089.719	— 0,095.906	— 0,354.094	+ 0,645.906
0,50	— 0,593.750	+ 0,406.250	+ 0,093.750	— 0,093.750	— 0,406.250	+ 0,593.750
0,55	— 0,645.906	+ 0,354.094	+ 0,095.906	— 0,089.719	— 0,460.281	+ 0,539.719
0,57735	»	»	+ **0,096.225**	»	»	»
0,60	— 0,696.000	+ 0,304.000	+ 0,096.000	— 0,084.000	— 0,516.000	+ 0,484.000
0,65	— 0,743.844	+ 0,256.156	+ 0,093.844	— 0,076.781	— 0,573.219	+ 0,426.781
0,70	— 0,789.250	+ 0,210.750	+ 0,089.250	— 0,068.250	— 0,631.750	+ 0,368.250
0,75	— 0,832.031	+ 0,167.969	+ 0,082.031	— 0,058.594	— 0,691.406	+ 0,308.594
0,80	— 0,872.000	+ 0,128.000	+ 0,072.000	— 0,048.000	— 0,752.000	+ 0,248.000
0,85	— 0,908.969	+ 0,091.031	+ 0,058.968	— 0,036.656	— 0,813.344	+ 0,186.656
0,90	— 0,942.750	+ 0,057.250	+ 0,042.750	— 0,024.750	— 0,875.250	+ 0,124.750
0,95	— 0,973.156	+ 0,026.844	+ 0,023.156	— 0,012.469	— 0,937 531	+ 0,062.469
1,00	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.000

2 Travées. $\alpha = 1,00$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{mp^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_1}{l}$										
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,043.753	+ 0,037.506	+ 0,031.259	+ 0,025.012	+ 0,018.766	+ 0,012.519	+ 0,006.272	+ 0,000.025	— 0,006.222	— 0,012.469
0,10	+ **0,087.525**	+ 0,075.050	+ 0,062.575	+ 0,050.100	+ 0,037.625	+ 0,025.150	+ 0,012.675	+ 0,000.200	— 0,012.275	— 0,024.750
0,15	+ 0,081.334	+ 0,112.669	+ 0,094.003	+ 0,075.338	+ 0,056.672	+ 0,038.006	+ 0,019.341	+ 0,000.675	— 0,017.990	— 0,036.656
0,20	+ 0,075.200	+ **0,150.400**	+ 0,125.600	+ 0,100.800	+ 0,076.000	+ 0,051.200	+ 0,026.400	+ 0,001.600	— 0,023.200	— 0,048.000
0,25	+ 0,069.141	+ 0,138.281	+ 0,157.422	+ 0,126.562	+ 0,095.703	+ 0,064.844	+ 0,033.984	— 0,003.125	— 0,027.735	— 0,058.594
0,30	+ 0,063.175	+ 0,126.350	+ **0,189.525**	+ 0,152.700	+ 0,115.875	+ 0,079.050	+ 0,042.225	— 0,005.400	— 0,031.425	— 0,068.250
0,35	+ 0,057.322	+ 0,114.644	+ 0,171.966	+ 0,179.288	+ 0,136.610	+ 0,093.931	+ 0,051.253	+ 0,008.575	— 0,034.103	— 0,076.781
0,40	+ 0,051.600	+ 0,103.200	+ 0,154.800	+ **0,206.400**	+ 0.158.000	+ 0,109.600	+ 0,061.200	+ 0,012.800	— 0,035.600	— 0,084.000
0,45	+ 0,046.028	+ 0,092.056	+ 0,138.084	+ 0,184.112	+ 0,180.141	+ 0,126.169	+ 0,072.197	+ 0,018.225	— 0,035.747	— 0,089.719
0,50	+ 0,040.625	+ 0,081.250	+ 0,121.875	+ 0,162.500	+ **0,203.125**	+ 0,143.750	+ 0,084.375	+ 0,025.000	— 0,034.375	— 0,093.750
0,55	+ 0,035.409	+ 0,070.819	+ 0,106.228	+ 0,141.638	+ 0.177.047	+ 0,162.456	+ 0,097.866	+ 0,033.275	— 0,031.315	— 0,095.306
0,57735	»	»	»	»	»	»	»	»	»	— **0,096.225**
0,60	+ 0,030.400	+ 0,060.800	+ 0,091.200	+ 0,121.600	+ 0,152.000	+ **0,182.400**	+ 0,112.800	+ 0,043.200	— 0,026.400	— 0,096.000
0,65	+ 0,025.616	+ 0,051.231	+ 0,076.847	+ 0,102.462	+ 0,128.078	+ 0,153.694	+ 0,129.309	+ 0,054.925	— 0,019.460	— 0,093.844
0,70	+ 0,021.075	+ 0,042.150	+ 0,063.225	+ 0,084.300	+ 0,105.375	+ 0,126.450	+ **0,147.525**	+ 0,068.600	— 0,010.325	— 0,089.250
0,75	+ 0,016.797	+ 0,033.594	+ 0,050.391	+ 0,067.188	+ 0,083.985	+ 0,100.781	+ 0,117.578	+ 0,084.375	+ 0,001.172	— 0,082.031
0,80	+ 0,012.800	+ 0,025.600	+ 0,038.400	+ 0,051.200	+ 0,064.000	+ 0,076.800	+ 0,089.600	+ **0,102.400**	+ 0,015.200	— 0,072.000
0,85	+ 0,009.101	+ 0,018.206	+ 0,027.309	+ 0,036.412	+ 0,045.516	+ 0,054.619	+ 0,063.722	+ 0,072.825	+ 0,031.928	— 0,058.968
0,90	+ 0,005.725	+ 0,011.450	+ 0,017.175	+ 0,022.900	+ 0,028.625	+ 0,034.350	+ 0,040.075	+ 0,045.800	+ **0,051.525**	— 0,042.750
0,95	+ 0,002.686	+ 0,005.369	+ 0,008.053	+ 00,10.738	+ 0,013.422	+ 0,016.106	+ 0,018.791	+ 0,021.475	+ 0,024.160	— 0,023.156
1,00	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000

Pour $\alpha = 1{,}00$, lorsque le mobile et la section sont dans la deuxième travée, les ordonnées correspondant à $1 - \frac{X_2}{l}$ sont égales aux ordonnées correspondant à $\frac{X_1}{l}$.

La dernière colonne représente les ordonnées de la ligne d'influence du moment sur l'appui lorsque le mobile est sur la première travée.

Lorsque la section est dans la première travée et le mobile sur la deuxième travée, on a

$$\frac{1}{l} M_1{}^2 = Y_1{}^2 \frac{X_1}{l}.$$

Pour

$$X_1 = l, \quad \frac{1}{l} M_1{}^2 = Y_1{}^2.$$

Il suffit de construire la ligne d'influence $Y_1{}^2$ et de l'utiliser pour toutes les sections, sauf à multiplier le moment obtenu par X_1 pour avoir le moment correspondant à la section dont l'abscisse est X_1.

2e Cas.

2 Travées. $\alpha = 0,90$



Foyers.

Désignation des foyers	Distance a l'appui le plus voisin	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,727.660l	0,172.340l
F_1^2	0,208.333l	0,791.667l

Points d'influence.

Désignation des points d'influence	Distance a l'appui le plus voisin	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,519.615l	0,380.385l
I_1^2	0,422.650l	0,577.350l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = 0,396.711\ p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = 0,047.961\ p_1 l.$

2e travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = -\ 0,073.100\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = +\ 0,565.789\ p_2 l - p_2 X_2.$

Toutes les travées également chargées
Section dans la 1re travée.
$T_1 = 0,323.611\ pl - pX_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2 = 0,613.750\ pl - pX_2.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$\mu_1^1 = 0,396.711\ p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$
Section dans la 2e travée.
$\mu_2^1 = -\ 0,047.961\ p_1 l^2 + 0,047.961\ p_1 l X_2.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1{}^2 = -\ 0{,}073.100\ p_2 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2{}^2 = -\ 0{,}065.790\ p_2 l^2 + 0{,}565.789\ p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2{}^2}{2}.$$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = 0{,}323.611\ p l X_1 - p\ \frac{X_1{}^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = -\ 0{,}113.750\ p l^2 + 0{,}613.750\ p l X_2 - p\ \frac{X_2{}^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur la pile.

1re travée seule chargée : $\mu_P{}^1 = -\ 0{,}047.961\ p_1 l^2.$

2e travée seule chargée : $\mu_P{}^2 = -\ 0{,}065.790\ p_2 l^2.$

Les deux travées également chargées : $\mu_P = -\ 0{,}113.751\ p l^2.$

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1{}^1 = -\ 1{,}374.269\ \frac{x}{l} + 0{,}324.886\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1{}^1 = 1 - 1{,}374.269\ \frac{x_1}{l} - 0{,}324.886\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y^2{}_1 = +\ 0{,}236.842\ \frac{x_1}{l} - 0{,}292.398\ \frac{x_1{}^3}{l_3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1{}^2 = -0{,}584.795\ \frac{x_2}{l} + 0{,}877.193\ \frac{x_2{}^2}{l^2} - 0{,}292.398\ \frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2{}^2 = -0{,}473.684\ \frac{x_2}{l} - 0{,}789.474\ \frac{x_2{}^2}{l^2} + 0{,}263.158\ \frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2{}^2 = 1 - 0{,}473.684\ \frac{x_2}{l} - 0{,}789.474\ \frac{x_2{}^2}{l^2} + 0{,}263.158\ \frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = \frac{1}{l} m_P^1 + y_2^1 \frac{X_2}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_P^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_P^2 - Y_2^2 \frac{X_2}{l}.$$

Moments sur pile.

Mobile sur la 1re travée. $\frac{m_P^1}{l} = \frac{x_1}{l} + 0{,}90\, y_1^1.$

Mobile sur la 2e travée. $\frac{M_P^2}{l} = 0{,}90\ Y_1^2.$

EFFORT TRANCHANT.

2 Travées. $\alpha = 0{,}90$

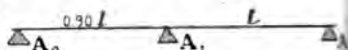


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

$\frac{x_1}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE — SECTION DANS LA 1re TRAVÉE — $x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$	SECTION dans la 2e travée	$\frac{x_2}{l}$	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE — SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE — $x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1		Y_1^2	y_2^2	Y_2^2
0,00	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	0,00	— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000.0[illegible]
0,05	— 0,068.673	+ 0,931.327	+ 0,011.806	0,05	— 0,027.083	— 0,025.625	+ 0,974.[illegible]
0,10	— 0,137.102	+ 0,862.898	+ 0,023.392	0,10	— 0,050.000	— 0,055.000	+ 0,945.00[illegible]
0,15	— 0,205.044	+ 0,794.956	+ 0,034.539	0,15	— 0,068.969	— 0,087.928	+ 0,912.0[illegible]
0,20	— 0,272.255	+ 0,727.745	+ 0,045.029	0,20	— 0,084.210	— 0,124.210	+ 0,875.79[illegible]
0,25	— 0,338.491	+ 0,661.509	+ 0,054.642	0,25	— 0,095.942	— 0,163.651	+ 0,836.34[illegible]
0,30	— 0,403.509	+ 0,596.491	+ 0,063.158	0,30	— 0,104.385	— 0,206.053	+ 0,793.[illegible]
0,35	— 0,467.065	+ 0,532.935	+ 0,070.358	0,35	— 0,109.758	— 0,251.217	+ 0,748.7[illegible]
0,40	— 0,528.915	+ 0,471.085	+ 0,076.023	0,40	— 0,112.280	— 0,298.947	+ 0,701.[illegible]
0,45	— 0,588.816	+ 0,411.184	+ 0,079.934	0,42265	**— 0,112.544**	"	"
0,50	— 0,646.524	+ 0,353.476	+ 0,081.871	0,45	— 0,112.171	— 0,349.046	+ 0,650.95[illegible]
0,519615	"	"	**+ 0,082.044**	0,50	— 0,109.649	— 0,401.315	+ 0,598.68[illegible]
0,55	— 0,701.795	+ 0,298.205	+ 0,081.615	0,55	— 0,104.934	— 0,455.559	+ 0,544.44[illegible]
0,60	— 0,754.386	+ 0,245.614	+ 0,078.947	0,60	— 0,098.246	— 0,511.578	+ 0,488.42[illegible]
0,65	— 0,804.053	+ 0,195.947	+ 0,073.647	0,65	— 0,089.803	— 0,569.177	+ 0,430.8[illegible]
0,70	— 0,850.552	+ 0,149.448	+ 0,065.496	0,70	— 0,079.825	— 0,628.158	+ 0,371.84[illegible]
0,75	— 0,893.640	+ 0,106.360	+ 0,054.275	0,75	— 0,068.531	— 0,688.322	+ 0,311.67[illegible]
0,80	— 0,933.073	+ 0,066.927	+ 0,039.765	0,80	— 0,056.140	— 0,749.473	+ 0,250.52[illegible]
0,85	— 0,968.607	+ 0,031.393	+ 0,021.746	0,85	— 0,042.873	— 0,811.414	+ 0,188.58[illegible]
0,90	— 1,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,90	— 0,028.947	— 0,873.947	+ 0,126.05[illegible]
				0,95	— 0,014.583	— 0,936.875	+ 0,063.12[illegible]
				1,00	0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.00[illegible]

2 Travées. $\alpha = 0,90$

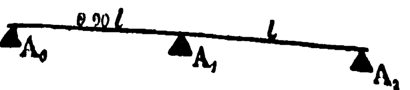


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1^1}{l}$, $\frac{M_1^1}{l}$ et $\frac{m_P^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$ / $\frac{x_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE								
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,043.133	+ 0,036.265	+ 0,029.302	+ 0,022.531	+ 0,015.664	+ 0,008.796	+ 0,001.929	— 0,004.938	— 0,011.806
0,10	+ **0,086.290**	+ 0,072.580	+ 0,058.869	+ 0,045.159	+ 0,031.449	+ 0,017.739	+ 0,004.029	— 0,009.682	— 0,023.392
0,15	+ 0,079.496	+ 0,108.991	+ 0,088.487	+ 0,067.982	+ 0,047.478	+ 0,026.974	+ 0,006.469	— 0,014.035	— 0,034.539
0,20	+ 0,072.775	+ **0,145.549**	+ 0,118.324	+ 0,091.098	+ 0,063.873	+ 0,036.647	+ 0,009.422	— 0,017.804	— 0,045.029
0,25	+ 0,066.151	+ 0,132.302	+ 0,148.453	+ 0,114.604	+ 0,080.755	+ 0,046.905	+ 0,013.056	— 0,020.793	— 0,054.642
0,30	+ 0,059.649	+ 0,119.298	+ **0,178.947**	+ 0,138.597	+ 0,098.246	+ 0,057.895	+ 0,017.544	— 0,022.807	— 0,063.158
0,35	+ 0,053.294	+ 0,106.587	+ 0,159.881	+ 0,163.174	+ 0,116.468	+ 0,069.761	+ 0,023.055	— 0,023.652	— 0,070.358
0,40	+ 0,047.109	+ 0,094.217	+ 0,141.326	+ **0,188.434**	+ 0,135.543	+ 0,082.651	+ 0,029.760	— 0,023.132	— 0,076.023
0,45	+ 0,041.118	+ 0,082.237	+ 0,123.355	+ 0,164.474	+ 0,155.592	+ 0,096.710	+ 0,037.829	— 0,021.053	— 0,079.934
0,50	+ 0,035.348	+ 0,070.695	+ 0,106.043	+ 0,141.390	+ **0,176.738**	+ 0,112.087	+ 0,047.433	— 0,017.219	— 0,081.871
0,519615	»	»	»	»	»	»	»	»	— **0,082.044**
0,55	+ 0,029.821	+ 0,059.641	+ 0,089.462	+ 0,119.282	+ 0,149.103	+ 0,128.923	+ 0,058.744	— 0,011.436	— 0,081.615
0,60	+ 0,024.561	+ 0,049.123	+ 0,073.684	+ 0,098.246	+ 0,122.808	+ **0,147.368**	+ 0,071.930	— 0,003.509	— 0,078.947
0,65	+ 0,019.595	+ 0,039.189	+ 0,058.784	+ 0,078.379	+ 0,097.974	+ 0,117.568	+ 0,087.163	+ 0,006.758	— 0,073.647
0,70	+ 0,014.945	+ 0,029.890	+ 0,044.834	+ 0,059.779	+ 0,074.724	+ 0,089.669	+ **0,104.614**	+ 0,019.558	— 0,065.496
0,75	+ 0,010.636	+ 0,021.272	+ 0,031.908	+ 0,042.544	+ 0,053.180	+ 0,063.816	+ 0,074.452	+ 0,035.088	— 0,054.275
0,80	+ 0,006.693	+ 0,013.385	+ 0,020.078	+ 0,026.771	+ 0,033.464	+ 0,040.156	+ 0,046.849	+ **0,053.542**	— 0,039.765
0,85	+ 0,003.139	+ 0,006.279	+ 0,009.418	+ 0,012.557	+ 0,015.697	+ 0,018.836	+ 0,021.975	+ 0,025.114	— 0,021.746

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 2e TRAVÉE.

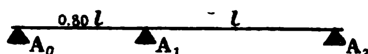
2 Travées. $\alpha = 0,90$

Table faisant connaître les lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_P^2}{l}$, $\frac{m_2^2}{l}$ et $\frac{M_2^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$ / $\frac{x_2}{l}$	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE									
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	90
0,00	**0,000.000**	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	— 0,024.375	+ 0,023.063	+ 0,020.500	+ 0,017.938	+ 0,015.375	+ 0,012.813	+ 0,010.250	+ 0,007.688	+ 0,005.125	+ 0,002.563
0,10	— 0,045.000	+ **0,049.500**	+ 0,044.000	+ 0,038.500	+ 0,033.000	+ 0,027.500	+ 0,022.000	+ 0,016.500	+ 0,011.000	+ 0,005.500
0,15	— 0,062.072	+ 0,029.135	+ 0,070 342	+ 0,061.550	+ 0,052.757	+ 0,043.964	+ 0,035.171	+ 0,026.348	+ 0,017.586	+ 0,008.791
0,20	— 0,075.790	+ 0,011.789	+ **0,099.368**	+ 0,086.947	+ 0,074.526	+ 0,062.105	+ 0,049.684	+ 0,037.263	+ 0,024.842	+ 0,012.421
0,25	— 0,086.349	— 0,002.714	+ 0,080.921	+ 0,114.557	+ 0,098.191	+ 0,081.826	+ 0,065.460	+ 0,049.095	+ 0,032.730	+ 0,016.365
0,30	— 0,093.947	— 0,014.552	+ 0,064.841	+ **0,144.237**	+ 0,123.632	+ 0,103.026	+ 0,082.421	+ 0,061.816	+ 0,041.211	+ 0,020.605
0,35	— 0,098.783	— 0,023.899	+ 0,050.974	+ 0,125.853	+ 0,150.730	+ 0,125.609	+ 0,100.487	+ 0,075.367	+ 0,050.243	+ 0,025.122
0,40	— 0,101.052	— 0,030.948	+ 0,039.158	+ 0,109.263	+ **0,179.368**	+ 0,149.474	+ 0,119.579	+ 0,089.684	+ 0,059.789	+ 0,029.895
0,42265	— **0,101.291**	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,45	— 0,100.951	— 0,035.858	+ 0,029.237	+ 0,094.333	+ 0,159.428	+ 0,174.523	+ 0,139.618	+ 0,104.714	+ 0,069.809	+ 0,034.905
0,50	— 0,098.684	— 0,038.816	+ 0,021.053	+ 0,080.921	+ 0,140.790	+ **0,200.658**	+ 0,160.526	+ 0,120.395	+ 0,080.263	+ 0,040.132
0,55	— 0,094.441	— 0,039.996	+ 0,014.447	+ 0,068.893	+ 0,123.335	+ 0,177.780	+ 0,182.223	+ 0,136.668	+ 0,091.112	+ 0,045.556
0,60	— 0,088.421	— 0,039.579	+ 0,009.263	+ 0,058.105	+ 0,106.947	+ 0,155.789	+ **0,204.632**	+ 0,153.474	+ 0,102.316	+ 0,051.158
0,65	— 0,080.823	— 0,037.740	+ 0,005.342	+ 0,048.426	+ 0,091.506	+ 0,134.589	+ 0,177.671	+ 0,170.753	+ 0,113.836	+ 0,056.918
0,70	— 0,071.843	— 0,034.659	+ 0,002.525	+ 0,039.710	+ 0,076.894	+ 0,114.078	+ 0,151.262	+ **0,188.446**	+ 0,125.631	+ 0,062.815
0,75	— 0,061.678	— 0,030.510	+ 0,000.658	+ 0,031.825	+ 0,062.993	+ 0,094.161	+ 0,125.329	+ 0,156.497	+ 0,137.664	+ 0,068.832
0,80	— 0,050.526	— 0,025.473	— 0,000.421	+ 0,024.632	+ 0,049.684	+ 0,074.737	+ 0,099.780	+ 0,124.842	+ **0,149.895**	+ 0,074.947
0,85	— 0,038.586	— 0,019.726	— 0,000.869	+ 0,017.992	+ 0,036.849	+ 0,055.707	+ 0,074.566	+ 0,093.424	+ 0,112.283	+ 0,081.141
0,90	0,026.052	0,013.448	0,000.842	0,011.763	+ 0,024.368	+ 0,036.973	+ 0,049.579	+ 0,062.184	+ 0,074.780	+ **0,087.305**
0,95	— 0,013.125	— 0,006.812	— 0,000.500	+ 0,005.815	+ 0,012.125	+ 0,018 437	+ 0,024.750	+ 0,031.062	+ 0,037.375	+ 0,043.688
1,00	— 0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	+ 0,000.000

3e Cas.

2 Travées. $\alpha = 0,80$



Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
F_2^1	0,654.545l	0,145.455l
F_1^2	0,217.391l	0,782.609l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
I_2^1	0,461.880l	0,338.120l
I_1^2	0,422.650l	0,577.350l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = 0,355.556\ p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_1^2 = 0,035.556\ p_1 l.$

2e travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = -\ 0,086.806\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = 0,569.444\ p_2 l - p_2 X_2.$

Toutes les travées également chargées
Section dans la 1re travée.
$T_1 = 0,268.750\ pl - pX_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2 = 0,605.000\ pl - pX_2.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$\mu_1^1 = 0,355.556\ p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$
Section dans la 2e travée.
$\mu_2^1 = -\ 0,035.556\ p_1 l^2 + 0,035.35\ \ p_1 l X_2.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^2 = -0{,}086.806\, p_2 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^2 = -0{,}694.44\, p_2 l^2 + 0{,}569.444\, p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}.$$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = 0{,}268.750\, p l X_1 - p \frac{X_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = -0{,}105.000\, p l^2 + 0{,}605.000\, p l X_2 - p \frac{X_2^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur la pile.

1re travée seule chargée : $\mu_P^1 = -0{,}035.556\, p_1 l^2.$

2e travée seule chargée : $\mu_P^2 = -0{,}069.444\, p_2 l^2.$

Les deux travées également chargées : $\mu_P = -0{,}105.000\, p l^2.$

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -1{,}527.778 \frac{x_1}{l} + 0{,}434.028 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1{,}527.778 \frac{x_1}{l} + 0{,}434.028 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = 0{,}222.222 \frac{x_1}{l} - 0{,}347.222 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0{,}694.444 \frac{x_2}{l} + 1{,}041.667 \frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}347.222 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -0{,}444.444 \frac{x_2}{l} - 0{,}833.333 \frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}277.778 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}444.444 \frac{x_2}{l} - 0{,}833.333 \frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}277.778 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1{}^1}{l} = y_1{}^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1{}^1}{l} = Y_1{}^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2{}^1}{l} = \frac{1}{l} m_P{}^1 + y_2{}^1 \frac{X_2}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1{}^2}{l} = Y_1{}^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2{}^2}{l} = \frac{1}{l} M_P{}^2 + y_2{}^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2{}^2}{l} = \frac{1}{l} M_P{}^2 + Y_2{}^2 \frac{X_2}{l}.$$

Moments sur pile.

Mobile sur la 1re travée : $\frac{m_P{}^1}{l} = \frac{x_1}{l} + 0,80\, y_1{}^1.$

Mobile sur la 2e travée : $\frac{M_P{}^2}{l} = 0,80\ Y_1{}^2.$

EFFORT TRANCHANT.

2 Travées. $\alpha = 0,80$

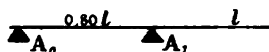


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tr

pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

$\frac{x_1}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE — SECTION DANS LA 1re TRAVÉE — $x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$	SECTION dans la 2e travée	$\frac{x_2}{l}$	MOBILE SUR LA 2e TRAV — SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e — $x_2 < X_2$	x_2
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1		Y_1^2	y_2^2	
0,00	0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,00	0,000.000	0.000.000	+ 1,
0,05	— 0,076.335	+ 0,923.665	+ 0,011.068	0,05	— 0,032.161	— 0,024.271	+ 0,
0,10	— 0,152.344	+ 0,847.656	+ 0,021.875	0,10	— 0,059.375	— 0,052.500	+ 0,
0,15	— 0,227.702	+ 0,772.298	+ 0.032.161	0,15	— 0,081.901	— 0,084.479	+ 0.
0,20	— 0,302.084	+ 0,697.916	+ 0,041.666	0,20	— 0,100.000	— 0,120.000	+ 0,
0,25	— 0,375.163	+ 0,624.837	+ 0,050.130	0.25	— 0,113.932	— 0,158.854	+ 0
0,30	— 0,446.615	+ 0,553.385	+ 0,057.291	0,30	— 0,123.958	— 0,200.833	+ 0.
0,35	— 0,516.114	+ 0,483.886	+ 0,062.890	0,35	— 0,130.338	— 0,245.729	+ 0.
0,40	— 0,583.334	+ 0,416.666	+ 0,066.660	0,40	— 0,133.333	— 0,293.333	+ 0.
0.45	— 0,647.950	+ 0,352.050	+ 0,068.359	0,42265	— 0,133.646	»	
0.46188	»	»	+ 0,068.427	0,45	— 0,133.203	— 0,343.437	+ 0.
0,50	— 0.709.630	+ 0,290.364	+ 0,067.708	0,50	— 0,130.208	— 0,395.833	+ 0.
0,55	— 0,768.067	+ 0,231.933	+ 0,064.453	0,55	— 0,124.609	— 0,450.312	+ 0
0,60	— 0,822.917	+ 0,177.083	+ 0,058.333	0,60	— 0,116.667	— 0,506.667	+ 0
0,65	— 0,873.861	+ 0,126.139	+ 0,049.088	0,65	— 0,106.641	— 0,564.687	+ 0
0,70	— 0,920.573	+ 0,079.427	+ 0,036.458	0,70	— 0,094.792	— 0,624.167	+ 0.
0,75	— 0,962.728	+ 0,037.272	+ 0,020.182	0,75	— 0,081.380	— 0,684.896	+ 0
0,80	— 1,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,80	— 0,066.667	— 0,746.667	+ 0
				0,85	— 0,050.911	— 0,809.271	+ 0
				0,90	— 0,034.375	— 0,872.500	+ 0.
				0,95	— 0,017.317	— 0,936.145	+ 0,
				1,00	0,000.000	— 1,000.000	0.

2 Travées. a : 0,80.

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_P{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE							
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
$\frac{x_1}{l}$								
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,042.367	+ 0,034.733	+ 0,027.100	+ 0,019.466	+ 0,011.833	+ 0,004.189	— 0,003.435	— 0,011.068
0,10	+ **0,084.766**	+ 0,069.531	+ 0,054.297	+ 0,039.062	+ 0,023.828	+ 0,008.594	— 0,006.641	— 0,021.875
0,15	+ 0,077.230	+ 0,104.460	+ 0,081.689	+ 0,058.919	+ 0,036.149	+ 0,013.379	— 0,009.391	— 0,032.162
0,20	+ 0,069.792	+ **0,139.583**	+ 0,109.375	+ 0,079.166	+ 0,048.958	+ 0,018.750	— 0,011.459	— 0,041.667
0,25	+ 0,062.484	+ 0,124.967	+ 0,137.451	+ 0,100.065	+ 0,062.419	+ 0,024.902	— 0,012.614	— 0,050.130
0,30	+ 0,055.339	+ 0,110.677	+ **0,166.016**	+ 0,121.354	+ 0,076.693	+ 0,032.031	— 0,012.631	— 0,057.292
0,35	+ 0,048.389	+ 0,096.777	+ 0,145.166	+ 0,143.554	+ 0,091.943	+ 0,040.332	— 0,011.280	— 0,062.891
0,40	+ 0,041.667	+ 0,083.333	+ 0,125.000	+ **0,166.667**	+ 0,108.333	+ 0,050.333	— 0,008.334	— 0,066.667
0,45	+ 0,035.205	+ 0,070.410	+ 0,105.615	+ 0,140.820	+ 0,126.025	+ 0,061.230	— 0,003.565	— 0,068.360
0,46188	»	»	»	»	»	»	»	— **0,068 426**
0,50	+ 0,029.036	+ 0,058.073	+ 0,087.109	+ 0,116.146	+ **0,145.182**	+ 0,074.218	+ 0,003.255	— 0,067.709
0,55	+ 0,023.193	+ 0,046.387	+ 0,069.580	+ 0,092.773	+ 0,115.967	+ 0,089.160	+ 0,012.353	— 0,064.454
0,65	+ 0,017.708	+ 0,035.417	+ 0,053.125	+ 0,070.833	+ 0,088.542	+ **0,106.250**	+ 0,023.958	— 0,058.334
0,60	+ 0,012.614	+ 0,025.228	+ 0,037.842	+ 0,050.456	+ 0,063.070	+ 0,075.683	+ 0,038.297	— 0,049 089
0,70	+ 0,007.943	+ 0,015.885	+ 0,023.828	+ 0,031.771	+ 0,039.714	+ 0,047.656	+ **0,055.599**	— 0,036.458
0,75	+ 0,003.727	+ 0,007.454	+ 0,011.182	+ 0,014.909	+ 0,018.636	+ 0,022.363	+ 0,026.090	— 0,020.182
0,80	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 2e TRAVÉE.

2 Travées. $\alpha = 0,80$



Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_P{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$ et $\frac{M_2{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE									
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
$\frac{x_2}{l}$										
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	— 0,025.729	+ 0,021.844	+ 0,019.427	+ 0,016.990	+ 0,014.563	+ 0,012.136	+ 0,009.709	+ 0,007.222	+ 0,004.854	+ 0,002.427
0,10	— 0,047.500	+ **0,047.250**	+ 0,042.000	+ 0,036.750	+ 0,031.500	+ 0,026.250	+ 0,021.000	+ 0,015.750	+ 0,010.500	+ 0,005.250
0,15	— 0,065.521	+ 0,026.030	+ 0,067.583	+ 0,05[illegible].136	+ 0,050.688	+ 0,042.240	+ 0,033.792	+ 0,025.364	+ 0,016.896	+ 0,008.448
0,20	— 0,080.000	+ 0,008.000	+ **0,096.000**	+ 0,084.[illegible]	+ 0,072.009	+ 0,060.000	+ 0,048.000	+ 0,036.000	+ 0,024.000	+ 0,012.000
0,25	— 0,091.146	— 0,007.031	+ 0,077.084	+ 0,111.198	+ 0,095.313	+ 0,079.427	+ 0,063.542	+ 0,047.657	+ 0,031.771	+ 0,015.886
0,30	— 0,099.167	— 0,019.250	+ 0,060.666	+ **0,149.583**	+ 0,120.500	+ 0,100.416	+ 0,080.333	+ 0,000.250	+ 0,040.166	+ 0,020.083
0,35	— 0,104.270	— 0,028.843	+ 0,046.563	+ 0,122.011	+ 0,147.438	+ 0,122.865	+ 0,098.292	+ 0,073.719	+ 0,049.146	+ 0,024.574
0,40	— 0,106.667	— 0,036.000	+ 0,034.666	+ 0,105.333	+ **0,176.000**	+ 0,146.667	+ 0,117.333	+ 0,088.000	+ 0,058.667	+ 0,029.333
0,42265	— **0,106.917**	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,45	— 0,106.562	— 0,040.906	+ 0,024.750	+ 0,090.407	+ 0,156.063	+ **0,171.719**	+ 0,137.375	+ 0,103.032	+ 0,068.688	+ 0,034.344
0,50	— 0,104.167	— 0,043.750	+ 0,016.666	+ 0,077.083	+ 0,137.500	+ **0,197.916**	+ 0,158.333	+ 0,118.750	+ 0,079.167	+ 0,039.583
0,55	— 0,099.687	— 0,044.718	+ 0,010.251	+ 0,065.219	+ 0,120.188	+ 0,175.117	+ 0,180.125	+ 0,135.094	+ 0,090.063	+ 0,045.032
0,60	— 0,093.333	— 0,044.000	+ 0,005.334	+ 0,054.667	+ 0,104.000	+ 0,153.333	+ **0,202.667**	+ 0,152.000	+ 0,101.333	+ 0,050.667
0,65	— 0,085.313	— 0,041.782	+ 0,001.750	+ 0,045.281	+ 0,088.812	+ 0,132.344	+ 0,175.875	+ 0,169.406	+ 0,112.938	+ 0,056.469
0,70	— 0,075.833	— 0,038.250	— 0,000.666	+ 0,036.917	+ 0,074.500	+ 0,112.083	+ 0,149.667	+ **0,187.250**	+ 0,124.833	+ 0,062.417
0,75	— 0,065.104	— 0,033.594	— 0,002.083	+ 0,029.427	+ 0,060.938	+ 0,092.448	+ 0,123.958	+ 0,155.469	+ 0,136.979	+ 0,068.495
0,80	— 0,053.333	— 0,028.000	— 0,002.666	+ 0,022.667	+ 0,048.000	+ 0,073.332	+ 0,098.667	+ 0,124.000	+ **0,149.333**	+ 0,074.667
0,85	— 0,040.729	— 0,021.660	— 0,002.583	+ 0,016.490	+ 0,035.563	+ 0,054.636	+ 0,073.709	+ 0,092.782	+ 0,111.854	+ 0,080.927
0,90	— 0,027.500	— 0,014.750	— 0,002.000	+ 0,010.750	+ 0,023.500	+ 0,036.250	+ 0,049.000	+ 0,061.750	+ 0,074.500	+ **0,087.250**
0,95	— 0,013.854	— 0,007.468	— 0,001.083	+ 0,005.[illegible]	+ 0,011.688	+ 0,018.074	+ 0,024.459	+ 0,0[illegible].845	+ 0,037.230	— 0,043.616
1,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

4e CAS.

2 Travées. $\alpha = 0,70$



Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,580.488l	0,119.512l
F_1^2	0,227.273l	0,772.727l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,404.145l	0,295.855l
I_1^2	0,422.650l	0,577.350l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = 0,313.97\ p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = 0,025.22\ p_1 l.$

2e travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = -\ 0,105.04\ p_2 l_2.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = 0,426.47\ p_2 l - p_2 X_2.$

Toutes les travées également chargées
Section dans la 1re travée.
$T_1 = 0,208.93\ pl - pX_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2 = 0,451.69\ pl - pX_2.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$\mu_1^1 = 0,313.97\ p_1 l - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$
Section dans la 2e travée.
$\mu_2^1 = -\ 0,025.22\ p_1 l^2 + 0,025.22\ p_1 l X_2.$

2e travée seule chargée
Section dans la 1re travée.
$\mu_1^2 = -\ 0,105.04\ p_2 l X_1.$
Section dans la 2e travée.
$\mu_2^2 = -\ 0,073.53\ p_2 l^2 + 0,426.47\ p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = 0{,}208.93\, plX_1 - p\,\frac{X_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = -0{,}098.75\, pl^2 + 0{,}451.69\, plX_2 - p\,\frac{X_2^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur la pile.

1re travée seule chargée : $\mu_P^1 = -0{,}025.22\, p_1 l^2.$

2e travée seule chargée : $\mu_P^2 = -0{,}073.53\, p_2 l^2.$

Les deux travées également chargées : $\mu_P = -0{,}098.75\, pl^2.$

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -1{,}722.689\,\frac{x_1}{l} + 0{,}600.240\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1{,}722.689\,\frac{x_1}{l} + 0{,}600.240\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = 0{,}205.882\,\frac{x_1}{l} - 0{,}420.167\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0{,}840.336\frac{x_2}{l} + 1{,}260.504\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}420.168\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -0{,}411.764\frac{x_2}{l} - 0{,}882.353\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}294.117\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}411.764\frac{x_2}{l} - 0{,}882.353\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}294.117\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1\,\frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1\,\frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = {}^1 m_P^1 + y_2^1\,\frac{X_2}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$M_1^2 = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_P^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_P^2 + Y_2^2 \frac{X_2}{l}.$$

Moments sur pile.

Mobile sur la 1re travée: $\frac{m_P^1}{l} = \frac{x_1}{l} + 0{,}70\, y_1^1.$

Mobile sur la 2e travée: $\frac{M_P^2}{l} = 0{,}70\, Y_1^2.$

EFFORT TRANCHANT.

2 Travées. $\alpha = 0{,}70$

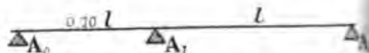


Table faisant connaitre les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranc[illegible] pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

$\frac{x_1}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE			$\frac{x_2}{l}$	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée		SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAV[illegible]	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$				$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1		Y_1^2	y_2^2	Y_2^2
0,00	0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,00	0,000.000	0,000.000	+ 1,000.[illegible]
0,05	— 0,086.059	+ 0,913.941	+ 0,010.242	0,05	— 0,038.918	— 0,022.757	+ 0,977.[illegible]
0,10	— 0,171.669	+ 0,828.331	+ 0,020.168	0,10	— 0,071.849	— 0,049.706	+ 0,950.[illegible]
0,15	— 0,256.377	+ 0,743.623	+ 0,029.464	0,15	— 0,099.107	— 0,080.625	+ 0,919.[illegible]
0,20	— 0,339.736	+ 0,660.264	+ 0,037.815	0,20	— 0,121.008	— 0,115.294	+ 0,884.[illegible]
0,25	— 0,421.293	+ 0,578.707	+ 0,044.905	0,25	— 0,137.868	— 0,153.492	+ 0,846.[illegible]
0,30	— 0,500.601	+ 0,499.399	+ 0,050.420	0,30	— 0,150.000	— 0,195.000	+ 0,805.[illegible]
0,35	— 0,577.206	+ 0,422.794	+ 0,054.044	0,35	— 0,157.720	— 0,239.595	+ 0,760.[illegible]
0,40	— 0,650.660	+ 0,349.340	+ 0,055.461	0,40	— 0,161.344	— 0,287.059	+ 0,712.[illegible]
0,404145	»	»	+ **0,055.471**	0,42265	— **0,161.723**	»	»
0,45	— 0,720.513	+ 0,279.487	+ 0,054.358	0,45	— 0,161.187	— 0,337.169	+ 0,662.[illegible]
0,50	— 0,786.313	+ 0,213.687	+ 0,050.419	0,50	— 0,157.563	— 0,389.705	+ 0,610.[illegible]
0,55	— 0,847.614	+ 0,152.386	+ 0,043.329	0,55	— 0,150.788	— 0,444.448	+ 0,555.[illegible]
0,60	— 0,903.961	+ 0,096.039	+ 0,032.772	0,60	— 0,141.176	— 0,501.176	+ 0,498.[illegible]
0,65	— 0,954.907	+ 0,045.093	+ 0,018.433	0,65	— 0,129.044	— 0,559.669	+ 0,440.[illegible]
0,70	— 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0,70	— 0,114.706	— 0,619.706	+ 0,380.[illegible]
				0,75	— 0,098.477	— 0,681.066	+ 0,318.[illegible]
				0,80	— 0,080.672	— 0,743.529	+ 0,256.[illegible]
				0,85	— 0,061.607	— 0,806.875	+ 0,193.[illegible]
				0,90	— 0,041.597	— 0,870.882	+ 0,129.[illegible]
				0,95	— 0,020.956	— 0,935.331	+ 0,064.[illegible]
				1,00	0,000.000	— 1,000.000	0,000.[illegible]

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 1re TRAVÉE.

2 Travées.

$\alpha = 0,70$

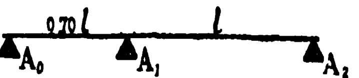


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_P{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE						
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
$\frac{x_1}{l}$							
0,00	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,041.394	+ 0,032.789	+ 0,024.189	+ 0,015.576	+ 0,006.970	— 0,001.635	— 0,010.241
0,10	+ **0,082.833**	+ 0,065.667	+ 0,048.499	+ 0,031.332	+ 0,014.166	— 0,003.001	— 0,020.168
0,15	+ 0,074.362	+ 0,098.725	+ 0,073.087	+ 0,047.449	+ 0,021.812	— 0,003.826	— 0,029.464
0,20	+ 0,066.026	+ **0,132.053**	+ 0,098.079	+ 0,064.106	+ 0,030.132	— 0,003.842	— 0,037.815
0,25	+ 0,057.871	+ 0,115.741	+ 0,123.612	+ 0,081.483	+ 0,039.353	— 0,002.776	— 0,044.905
0,30	+ 0,049.940	+ 0,099.880	+ **0,149.820**	+ 0,099.760	+ 0,049.700	— 0,000.361	— 0,050.421
0,35	+ 0,042.279	+ 0,084.559	+ 0,126.838	+ 0,119.118	+ 0,061.397	+ 0,003.676	— 0,054.044
0,40	+ 0,034.934	+ 0,069.868	+ 0,104.802	+ **0,139.736**	+ 0,074.670	+ 0,009.604	— 0,055.462
0,404145	»	»	»	»	»	»	— **0,055.471**
0,45	+ 0,027.949	+ 0,055.897	+ 0,083.846	+ 0,111.795	+ 0,08.9744	+ 0,01.7692	— 0,054.359
0,50	+ 0,021.369	+ 0,042.737	+ 0,064.106	+ 0,085.475	+ **0,106.843**	+ 0,02.8212	— 0,050.419
0,55	+ 0,015.239	+ 0,030.477	+ 0,045.716	+ 0,060.954	+ 0,076.193	+ 0,04.1432	— 0,043.330
0,60	+ 0,009.604	+ 0,019.208	+ 0,028.812	+ 0,038.416	+ 0,048.019	+ **0,057.623**	— 0,032.773
0,65	+ 0,004.509	— 0,009.019	+ 0,013.528	+ 0,018.037	+ 0,022.546	+ 0,027.056	— 0,018.434
0,70	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 2e TRAVÉE.

2 Travées. $\alpha = 0,70$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_P^2}{l}$, $\frac{m_2^2}{l}$ et $\frac{M_2^2}{l}$ pour des

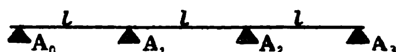
valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$ / $\frac{x_2}{l}$	0.00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE									
0.00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	— 0,027.243	+ 0,020.481	+ 0,018.206	+ 0,015.930	+ 0,013.654	+ 0,011.378	+ 0,009.103	+ 0,006.827	+ 0,004.551	+ 0,002.276
0,10	— 0,050.294	+ **0,044.735**	+ 0,039.765	+ 0,034.794	+ 0,029.824	+ 0,024.853	+ 0,019.882	+ 0,014.912	+ 0,009.941	+ 0,004.971
0.15	— 0,069.375	+ 0,022.562	+ 0,064.500	+ 0,056.437	+ 0,048.375	+ 0,040.312	+ 0,032.250	+ 0,024.187	+ 0,016.125	+ 0,008.062
0,20	— 0,084.706	+ 0,003.765	+ **0,092.235**	+ 0,080.706	+ 0,069.176	+ 0,057.647	+ 0,046.118	+ 0,034.588	+ 0,023.059	+ 0,011.529
0,25	— 0,096.508	— 0,011.857	+ 0,072.794	+ 0,107.414	+ 0,092.095	+ 0,076.746	+ 0,061.397	+ 0,046.048	+ 0,030.698	+ 0,015.349
0,30	— 0,105.000	— 0,024.500	+ 0,056.000	+ **0,136.500**	+ 0,117.000	+ 0,097.500	+ 0,078.000	+ 0,058.500	+ 0,039.000	+ 0,019.500
0,35	— 0,110.404	— 0,034.364	+ 0,041.676	+ 0,117.716	+ 0,143.757	+ 0,119.797	+ 0,095.838	+ 0,071.878	+ 0,047.919	+ 0,023.959
0,40	— 0,112.941	— 0,041.647	+ 0,029.647	+ 0,100.941	+ **0,172.235**	+ 0,143.529	+ 0,114.824	+ 0,086.118	+ 0,057.412	+ 0,028.706
0,42265	— **0,113.206**	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,45	— 0,112.831	— 0,046.548	+ 0,019.735	+ 0,086.018	+ 0,152.301	+ 0,168.585	+ 0,134.868	+ 0,101.151	+ 0,067.434	+ 0,033.717
0,50	— 0,110.294	— 0,049.265	+ 0,011.765	+ 0,072.794	+ 0,133.824	+ **0,194.853**	+ 0,155.882	+ 0,116.912	+ 0,077.941	+ 0,038.971
0,55	— 0,105.552	— 0,049.997	+ 0,005.558	+ 0,061.113	+ 0,116.669	+ 0,172.224	+ 0,177.779	+ 0,133.334	+ 0,088.889	+ 0,044.445
0,60	— 0,098.823	— 0,048.941	+ 0,000.942	+ 0,050.824	+ 0,100.707	+ 0,150.589	+ **0,200.471**	+ 0,150.354	+ 0,100.236	+ 0,050.119
0,65	— 0,090.331	— 0,046.298	— 0,002.265	+ 0,041.768	+ 0,085.801	+ 0,129.835	+ 0,173.868	+ 0,167.901	+ 0,111.934	+ 0,055.967
0,70	— 0,080.294	— 0,042.265	— 0,004.235	+ 0,033.794	+ 0,071.824	+ 0,109.853	+ 0,147.882	+ **0,185.912**	+ 0,123.941	+ 0,061.971
0,75	— 0,068.934	— 0,037.040	— 0,005.147	+ 0,026.746	+ 0,058.640	+ 0,090.533	+ 0,122.426	+ 0,154.320	+ 0,136.213	+ 0,068.107
0,80	— 0,056.471	— 0,030.824	— 0,005.177	+ 0,020.470	+ 0,046.117	+ 0,071.764	+ 0,097.412	+ 0,123.059	+ **0,148.706**	+ 0,074.353
0,85	— 0,043.125	— 0,023.813	— 0,004.500	+ 0,014.812	+ 0,034.125	+ 0,053.437	+ 0,072.750	+ 0,092.062	+ 0,111.375	+ 0,080.687
0,90	— 0,029.118	— 0,016.206	— 0,003.294	+ 0,009.617	+ 0,022.529	+ 0,035.441	+ 0,048.353	+ 0,061.265	+ 0,074.176	+ **0,087.088**
0,95	— 0,014.669	— 0,008.202	— 0,001.735	+ 0,004.732	+ 0,011.199	+ 0,017.665	+ 0,024.132	+ 0,030.595	+ 0,037.066	+ 0,043.533
1,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

§ 3. — Poutres reposant sur quatre appuis.

1er Cas.

3 Travées. $\alpha = 1{,}00$



Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
F_2^1	$0{,}789.474l$	$0{,}210.526l$
F_1^2	$0{,}200.000l$	$0{,}800.000l$
F_2^2	$0{,}800.000l$	$0{,}200.000l$
F_1^3	$0{,}210.526l$	$0{,}789.474l$

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
I_2^1	$0{,}577.350l$	$0{,}422.650l$
I_1^2	$0{,}383.667l$	$0{,}616.333l$
I_2^2	$0{,}616.333l$	$0{,}383.667l$
I_1^3	$0{,}422.650l$	$0{,}577.350l$

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = +\ 0{,}433.333\ p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = +\ 0{,}083.333\ p_1 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = -\ 0{,}016.667\ p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = -\ 0{,}050.000\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = +\ 0{,}500.000\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = +\ 0{,}050.000\ p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = +\ 0{,}016.667\ p_3 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = -\ 0{,}083.333\ p_3 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = +\ 0{,}566.667\ p_3 l - p_3 X_3.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = + 0{,}400.000\ pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = + 0{,}500.000\ pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = + 0{,}600.000\ pl - pX_3.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = + 0{,}433.333\ p_1 l X_1 - 0{,}50\ p_1 X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = - 0{,}066.667\ p_1 l^2 + 0{,}083.333\ p_1 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = + 0{,}016.667\ p_1 l^2 - 0{,}016.667\ p_1 l X_3.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = - 0{,}050.000\ p_2 l X_1$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = - 0{,}050.000\ p_2 l^2 + 0{,}500.000\ p_2 l X_2 - 0{,}50\ p_2 X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = - 0{,}050.000\ p_2 l^2 + 0{,}050.000\ p_2 l X_3.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = + 0{,}016.667\ p_3 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = + 0{,}016.667\ p_3 l^2 - 0{,}083.333\ p_3 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^3 = - 0{,}066.667\ p_3 l^2 + 0{,}566.667\ p_3 l X_3 - 0{,}50\ p_3 X_3^2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = + 0{,}400.000\ pl X_1 - 0.50\ pX_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2 = - 0{,}100.000\ pl^2 + 0{,}500.000\ pl X_2 - 0{,}50\ pX_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = - 0{,}100.000\ pl^2 + 0{,}600.000\ pl X_3 - 0{,}50\ pX_3^2.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée

$\mu_{P_1}^1 = - 0{,}066.667\ p_1 l^2.$ Moment sur pile no 1.

$\mu'_{P_2}{}^1 = + 0{,}016.667\ p_1 l^2.$ Moment sur pile no 2.

2e travée seule chargée	$\mu p_1^2 = -0{,}050.000\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^2 = -0{,}050.000\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
3e travée seule chargée	$\mu p_1^3 = +0{,}016.667\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^3 = -0{,}066.667\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
Toutes les travées également chargées	$\mu p_1 = -0{,}100.000\ p l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2 = -0{,}100.000\ p l^2.$	Moment sur pile n° 2.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -1{,}266.667\ \frac{x_1}{l} + 0{,}266.667\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1{,}266.667\ \frac{x_1}{l} + 0{,}266.667\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = +0{,}333.333\ \frac{x_1}{l} - 0{,}333.333\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^1 = -0{,}066.667\ \frac{x_1}{l} + 0{,}066.667\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0{,}466.667\ \frac{x_2}{l} + 0{,}80\ \frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}333.333\ \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -0{,}666.667\ \frac{x_2}{l} - \frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}666.667\ \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}666.667\ \frac{x_2}{l} - \frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}666.667\ \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = y_2^1 \frac{X_2}{l} + y_1^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^1}{l} = y_3^1 \frac{X_3}{l} + y_2^1 + y_1^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = y_2^2 \frac{X_2}{l} + Y_1^2 + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = Y_2^2 \frac{X_2}{l} + Y_1^2.$$

Moments sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{1}{l}\, m_{P_1}^1 = y_1^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{1}{l}\, m_{P_2}^1 = y_1^1 + \frac{x_1}{l} + y_2^1.$$

Mobile sur la 2e travée

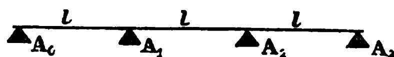
Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{1}{l}\, M_{P_1}^2 = Y_1^2.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{1}{l}\, m_{P_2}^2 = Y_1^2 + y_2^2 + \frac{x_2}{l}.$$

EFFORTS TRANCHANTS.



3 Travées. $\alpha = 1,00$

ble faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE				MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 3e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$				$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$
	$y_1{}^1$	$Y_1{}^1$	$y_2{}^1$	$y_3{}^1$	$Y_1{}^2$	$y_2{}^2$	$Y_2{}^2$
,00	0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	− 0,000.000	0,000.000	0,000.000	+ 1,000.000
,05	− 0,063.300	+ 0,936.700	+ 0,016.625	− 0,003.325	− 0,021.375	− 0,035.750	+ 0,964.250
,10	− 0,126.400	+ 0,873.600	+ 0,033.000	− 0,006.600	− 0,039.000	− 0,076.000	+ 0,924.000
,15	− 0,189.100	+ 0,810.900	+ 0,048.875	− 0,009.775	− 0,053.125	− 0,120.250	+ 0,879.750
,20	− 0,251.200	+ 0,748.800	+ 0,064.000	− 0,012.800	− 0,064.000	− 0,168,000	+ 0,832.000
,25	− 0,312.500	+ 0,687.500	+ 0,078.125	− 0,015.625	− 0,071.875	− 0,218.750	+ 0,781.250
,30	− 0,372.800	+ 0,627.200	+ 0,091.000	− 0,018.200	− 0,077.000	− 0,272.000	+ 0,728.000
,35	− 0,431.900	+ 0,568.100	+ 0,102.375	− 0,020.475	− 0,079.625	− 0,327.250	+ 0,672.750
,383.667	»	»	»	»	− **0,080.110**	»	»
,40	− 0,489.600	+ 0,510.400	+ 0,112.000	− 0,022.400	− 0,080.000	− 0,384.000	+ 0,616.000
,45	− 0,545.700	+ 0,454.300	+ 0,119.625	− 0,023.925	− 0,078.375	− 0,441.750	+ 0,558.250
0,50	− 0,600.000	+ 0,400.000	+ 0,125.000	− 0,025.000	− 0,075.000	− 0,500.000	+ 0,500.000
0,55	− 0,652.300	+ 0,347.700	+ 0,127.875	− 0,025.575	− 0,070.125	− 0,558.250	+ 0,441.750
0,57735	− 0,679.990	+ 0,320.010	+ **0,128.300**	− **0,025.660**	»	»	»
0,60	− 0,702.400	+ 0,297.600	+ 0,128.000	− 0,025.600	− 0,064.000	− 0,616.000	+ 0,384.000
0,616.333	»	»	»	»	− 0,061.771	− 0,634.672	+ 0,365.328
0,65	− 0,750.100	+ 0,249.900	+ 0,125.125	− 0,025.025	− 0,056.875	− 0,672.750	+ 0,327.250
0,70	− 0,795.200	+ 0,204.800	+ 0,119.000	− 0,023.800	− 0,049.000	− 0,728.000	+ 0,272.000
0,75	− 0,837.500	+ 0,162.500	+ 0,109.375	− 0,021.875	− 0,040.625	− 0,781.250	+ 0,218.750
0,80	− 0,876.800	+ 0,123.200	+ 0,096.000	− 0,019.200	− 0,032.000	− 0,832.000	+ 0,168.000
0,85	− 0,912.900	+ 0,087.100	+ 0,078.625	− 0,015.725	− 0,023.375	− 0,879.750	+ 0,120.250
0,90	− 0,945.600	+ 0,054.400	+ 0,057.000	− 0,011.400	− 0,015.000	− 0,924.000	+ 0,076.000
0,95	− 0,974.700	+ 0,025.300	+ 0,030.875	− 0,006.175	− 0,007.125	− 0,964.250	+ 0,035.750
1,00	− 1,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	− 1,000.000	0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 1re TRAVÉE.

3 Travées. $\alpha = 1,00$

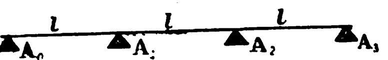


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.									
$\frac{x_1}{l}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,043.670	+ 0,037.340	+ 0,031.010	+ 0,024.680	+ 0,018.350	+ 0,012.020	+ 0,005.690	— 0,000.640	— 0,006.970	— 0,013.300
0,10	+ **0,087.360**	+ 0,074.720	+ 0,062.080	+ 0,049.440	+ 0,036.800	+ 0,024.160	+ 0,011.520	— 0,001.120	— 0,013.760	— 0,026.400
0,15	+ 0,081.090	+ 0,112.180	+ 0,093.270	+ 0,074.360	+ 0,055.450	+ 0,036.540	+ 0,017.630	— 0,001.280	— 0,020.190	— 0,039.100
0,20	+ 0,074.880	+ **0,149.760**	+ 0,124.640	+ 0,099.520	+ 0,074.400	+ 0,049.280	+ 0,024.160	— 0,000.960	— 0,026.080	— 0,051.200
0,25	+ 0,068.750	+ 0,137.500	+ 0,156.250	+ 0,125.000	+ 0,093.750	+ 0,063.100	+ 0,031.250	0,000.000	— 0,031.250	— 0,062.500
0,30	+ 0,062.720	+ 0,125.440	+ **0,188.160**	+ 0,150.880	+ 0,113.600	+ 0,076.320	+ 0,039.040	+ 0,001.760	— 0,035.520	— 0,072.800
0,35	+ 0,056.810	+ 0,113.620	+ 0,170.430	+ 0,177.240	+ 0,134.050	+ 0,091.860	+ 0,047.670	+ 0,004.480	— 0,038.710	— 0,081.900
0,40	+ 0,051.040	+ 0,102.080	+ 0,153.120	+ **0,204.160**	+ 0,155.200	+ 0,106.240	+ 0,057.280	+ 0,008.320	— 0,040.640	— 0,089.600
0,45	+ 0,045.430	+ 0,090.860	+ 0,136.290	+ 0,181.720	+ 0,177.150	+ 0,122.580	+ 0,068.010	+ 0,013.440	— 0,041.130	— 0,095.700
0,50	+ 0,040.000	+ 0,080.000	+ 0,120.000	+ 0,160.000	+ **0,200.000**	+ 0,140.000	+ 0,080.000	+ 0,020.000	— 0,040.000	— 0,100.000
0,55	+ 0,034.770	+ 0,069.540	+ 0,104.310	+ 0,139.080	+ 0,173.850	+ 0,158.620	+ 0,093.390	+ 0,028.160	— 0,037.070	— 0,102.300
0,57735	»	»	»	»	»	»	»	»	»	— **0,102.640**
0,60	+ 0,029.760	+ 0,059.520	+ 0,089.280	+ 0,119.040	+ 0,148.800	+ **0,178.560**	+ 0,108.320	+ 0,038.080	— 0,032.160	— 0,102.400
0,65	+ 0,024.990	+ 0,049.980	+ 0,074.470	+ 0,099.960	+ 0,124.950	+ 0,149.940	+ 0,124.930	+ 0,049.920	— 0,025.090	— 0,100.100
0,70	+ 0,020.480	+ 0,040.960	+ 0,061.440	+ 0,081.920	+ 0,102.400	+ 0,122.880	+ **0,143.360**	+ 0,063.840	— 0,015.680	— 0,095.200
0,75	+ 0,016.250	+ 0,032.500	+ 0,048.850	+ 0,065.000	+ 0,081.250	+ 0,097.500	+ 0,113.750	+ 0,080.000	— 0,003.750	— 0,087.500
0,80	+ 0,012.320	+ 0,024.640	+ 0,036.960	+ 0,049.280	+ 0,061.600	+ 0,073.920	+ 0,086.240	+ **0,098.560**	+ 0,010.880	— 0,076.800
0,85	+ 0,008.710	+ 0,017.420	+ 0,026.130	+ 0,034.840	+ 0,043.550	+ 0,052.260	+ 0,060.970	+ 0,069.680	+ 0,028.390	— 0,062.900
0,90	+ 0,005.440	+ 0,010.880	+ 0,016.320	+ 0,021.760	+ 0,027.200	+ 0,032.640	+ 0,038.080	+ 0,043.520	+ **0,048.960**	— 0,045.600
0,95	+ 0,002.530	+ 0,005.060	+ 0,007.590	+ 0,010.120	+ 0,012.650	+ 0,015.180	+ 0,017.710	+ 0,020.240	+ 0,022.770	— 0,024.700
1,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

3 Travées. $\alpha = 1,00.$

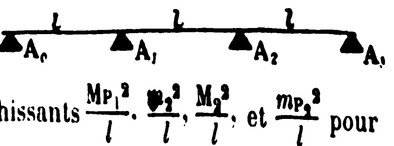
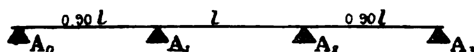


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{p_1}^2}{l}$, $\frac{\mathfrak{M}_2^2}{l}$, $\frac{M_2^2}{l}$, et $\frac{m_{p_2}^2}{l}$ pour

des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$	SECTION DANS LA 2ᵉ TRAVÉE — MOBILE SUR LA 2ᵉ TRAVÉE.										
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_2}{l}$											
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,021.375	+0,025.050	+0,021.475	+0,017.900	+0,014.325	+0,010.750	+0,007.175	+0,003.600	+0,000.025	−0,003.550	−0,007.125
0,10	−0,039.000	**+0,053.400**	+0,045.800	+0,038.200	+0,030.600	+0,023.000	+0,015.400	+0,007.800	+0,000.200	−0,007.400	−0,015.000
0,15	−0,053.125	+0,034.850	+0,072.825	+0,060.800	+0,048.775	+0,036.750	+0,024.725	+0,012.700	+0,000.675	−0,011.350	−0,023.375
0,20	−0,064.000	+0,019.200	**+0,102.400**	+0,085.600	+0,068.800	+0,052.000	+0,035.200	+0,018.400	+0,001.600	−0,015.200	−0,032.000
0,25	−0,071.875	+0,006.250	+0,084.375	+0,112.500	+0,090.625	+0,068.750	+0,046.875	+0,025.000	+0,003.125	−0,018.750	−0,040.625
0,30	−0,077.000	+0,004.200	+0,068.600	**+0,141.400**	+0,114.200	+0,087.000	+0,059.800	+0,032.600	+0,005.400	−0,021.800	−0,049.000
0,35	−0,079.625	−0,012.350	+0,054.925	+0,122.200	+0,139.475	+0,106.750	+0,074.025	+0,041.300	+0,008.575	−0,024.150	−0,056.875
0,383.667	**−0,080.110**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,080.000	−0,018.400	+0,043.200	+0,104.800	**+0,166.400**	+0,128.000	+0,089.600	+0,051.200	+0,012.800	−0,025.600	−0,064.000
0,45	−0,078.375	−0,022.550	+0,033.275	+0,089.100	+0,144.925	+0,150.750	+0,106.575	+0,062.400	+0,018.225	−0,025.950	−0,070.125
0,50	−0,075.000	−0,025.000	+0,025.000	+0,075.000	+0,125.000	**+0,175.000**	+0,125.000	+0,075.000	+0,025.000	−0,025.000	−0,075.000
0,55	−0,070.125	−0,025.950	+0,018.225	+0,062.400	+0,106.575	+0,150.750	+0,144.925	+0,089.100	+0,033.275	−0,022.550	−0,078.375
0,60	−0,064.000	−0,025.600	+0,012.800	+0,051.200	+0,089.600	+0,128.000	**+0,166.400**	+0,104.800	+0,043.200	−0,018.400	−0,080.000
0,616.333	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,080.110**
0,65	−0,056.875	−0,024.150	+0,008.575	+0,041.300	+0,074.025	+0,106.750	+0,139.475	+0,122.200	+0,054.925	−0,012.350	−0,079.625
0,70	−0,049.000	−0,021.800	+0,005.400	+0,032.600	+0,059.800	+0,087.000	+0,114.200	**+0,141.400**	+0,068.600	−0,004.200	−0,077.000
0,75	−0,040.625	−0,018.750	+0,003.125	+0,025.000	+0,046.875	+0,068.750	+0,090.625	+0,112.500	+0,084.375	+0,006.250	−0,071.875
0,80	−0,032.000	−0,015.200	+0,001.600	+0,018.400	+0,035.200	+0,052.000	+0,068.800	+0,085.600	**+0,102.400**	+0,019.200	−0,064.000
0,85	−0,023.375	−0,011.350	+0,000.675	+0,012.700	+0,024.725	+0,036.750	+0,048.775	+0,060.800	+0,072.825	+0,034.850	−0,053.125
0,90	−0,015.000	−0,007.400	+0,000.200	+0,007.800	+0,015.400	+0,023.000	+0,030.600	+0,038.200	+0,045.800	**+0,053.400**	−0,039.000
0,95	−0,007.125	−0,003.550	+0,000.025	+0,003.600	+0,007.175	+0,010.750	+0,014.325	+0,017.900	+0,021.475	+0,025.050	−0,021.375
1,00	0,000.000	−0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

2e Cas.



3 Travées. $\alpha = 0,90$.

Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
F_2^1	$0,717.438l$	$0,182.563l$
F_1^2	$0,208.333l$	$0,791.667l$
F_2^2	$0,791.667l$	$0,208.333l$
F_1^3	$0,182.563l$	$0,717.438l$

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	à droite
I_2^1	$0,519.615l$	$0,380.385l$
I_1^2	$0,381.305l$	$0,618.695l$
I_2^2	$0,618.695l$	$0,381.305l$
I_1^3	$0.380.385l$	$0,519.615l$

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = + 0,392.746\, p_1 l - p_1 X_1$.
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = + 0,065.089\, p_1 l$.
Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = - 0,015.067\, p_1 l$.

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = - 0,057.870\, p_2 l$.
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = + 0,500.000\, p_2 l - p_2 X_2$.
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = + 0,057.870\, p_2 l$.

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = + 0,015.067\, p_3 l$.
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = - 0,065.089\, p_3 l$.
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = + 0,507.254\, p_3 l - p_3 X_3$.

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = +\ 0{,}349.943\ pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = +\ 0{,}500.000\ pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = +\ 0{,}550.057\ pl - pX_3.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = +\ 0{,}392.746\ p_1 l X_1 - 0{,}50\ p_1 X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = -\ 0{,}051.529\ p_1 l^2 + 0{,}065.089\ p_1 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = +\ 0{,}013.560\ p_1 l^2 - 0{,}015.067\ p_1 l X_3.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = -\ 0{,}057.870\ p_2 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = -\ 0{,}052.083\ p_2 l^2 + 0{,}50\ p_2 l X_2 - 0{,}50\ p_2 X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = -\ 0{,}052.083\ p_2 l^2 + 0{,}057.870\ p_2 l X_3.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = +\ 0{,}015.067\ p_3 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = +\ 0{,}013.560\ p_3 l^2 - 0{,}065.089\ p_3 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^3 = -\ 0{,}051.529\ p_3 l^2 + 0{,}507.254\ p_3 l X_3 - 0{,}50\ p_3 X_3^2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = +\ 0{,}349.943\ pl X_1 - 0{,}50\ pX_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2 = -\ 0{,}090.052\ pl^2 + 0{,}500.000\ pl X_2 - 0{,}50\ pX_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = -\ 0{,}090.052\ pl^2 + 0{,}550.057\ pl X_3 - 0{,}50\ pX_3^2.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée

$\mu_{P_1}^1 = -\ 0{,}051.529\ p_1 l^2.$ Moment sur pile n° 1.

$\mu_{P_2}^1 = +\ 0{,}013.560\ p_1 l^2.$ Moment sur pile n° 2.

2e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^2 = -\ 0{,}052.083\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1
	$\mu_{P_2}{}^2 = -\ 0{,}052.083\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
3e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^3 = +\ 0{,}013.560\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^3 = -\ 0{,}051.529\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
Toutes les travées également chargées	$\mu_{P_1} = -\ 0{,}090.052\ pl^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2} = -\ 0{,}090.052\ pl^2.$	Moment sur pile n° 2.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1{}^1 = -\ 1{,}393.849\ \frac{x_1}{l} + 0{,}349.059\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1{}^1 = 1 - 1{,}393.849\ \frac{x_1}{l} + 0{,}349.059\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2{}^1 = +\ 0{,}321.429\ \frac{x_1}{l} - 0{,}396.825\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3{}^1 = -\ 0{,}074.405\ \frac{x_1}{l} + 0{,}091.858\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1{}^2 = -0{,}545.635\frac{x_2}{l} + 0{,}942.460\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}396.825\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2{}^2 = -0{,}642.857\frac{x_2}{l} - 1{,}071.429\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}714.286\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2{}^2 = 1 - 0{,}642.857\frac{x_2}{l} - 1{,}071.429\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}714.286\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = y_2^1 \frac{X_2}{l} + y_1^1 \alpha + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^1}{l} = y_3^1 \frac{X_3}{l} + \frac{1}{l} m_{P_2}^1.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = y_2^2 \frac{X_2}{l} + \alpha Y_1^2 + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = Y_2^2 \frac{X_2}{l} + \alpha Y_1^2.$$

Moments sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{m_{P_1}^1}{l} = \alpha y_1^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^1}{l} = \alpha y_1^1 + \frac{x_1}{l} + y_2^1.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}^2}{l} = \alpha Y_1^2.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^2}{l} = \alpha Y_1^2 + y_2^2 + \frac{x_2}{l}.$$

EFFORTS TRANCHANTS.

3 Travées. $\alpha = 0{,}90$

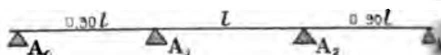


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranch[ant] pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE				MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 3e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAV[ÉE]	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$				$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	y_3^1	Y_1^2	y_2^2	Y_2^2
0,00	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000
0,05	— 0,069.649	+ 0,930.351	+ 0,016.022	— 0,003.708	— 0,024.975	— 0,034.732	+ 0,965
0,10	— 0,139.036	+ 0,860.964	+ 0,031.746	— 0,007.348	— 0,045.536	— 0,074.286	+ 0,925
0,15	— 0,207.899	+ 0,792.101	+ 0,046.875	— 0,010.850	— 0,061.979	— 0,118.125	+ 0,881
0,20	— 0,275.977	+ 0,724.023	+ 0,061.111	— 0,014.145	— 0,074.603	— 0,165.714	+ 0,834
0,25	— 0,343.008	+ 0,656.992	+ 0,074.157	— 0,017.165	— 0,083.705	— 0,216.518	+ 0,783
0,30	— 0,408.730	+ 0,591.270	+ 0,085.714	— 0,019.840	— 0,089.583	— 0,270.000	+ 0,730
0,35	— 0,472.881	+ 0,527.119	+ 0,095.486	— 0,022.102	— 0,092.534	— 0,325.625	+ 0,67
0,381.305	»	»	»	»	— **0,093.025**	»	»
0,40	— 0,535.200	+ 0,464.800	+ 0,103.174	— 0,023.882	— 0,092.856	— 0,382.857	+ 0,617
0,45	— 0,595.424	+ 0,404.576	+ 0,108.481	— 0,025.111	— 0,090.847	— 0,441.161	+ 0,558
0,50	— 0,653.292	+ 0,346.708	+ 0,111.110	— 0,025.720	— 0,086.804	— 0,500.000	+ 0,500
0,519.615	— 0,676.019	+ 0,323.981	+ **0,112.171**	— **0,025.966**	»	»	»
0,55	— 0,708.542	+ 0,291.458	+ 0,110.763	— 0,025.640	— 0,081.025	— 0,558.839	+ 0,441
0,60	— 0,760.912	+ 0,239.088	+ 0,107.142	— 0,024.802	— 0,073.808	— 0,617.143	+ 0,382
0,65	— 0,810.141	+ 0,189.859	+ 0,099.950	— 0,023.137	— 0,065.450	— 0,674.375	+ 0,325
0,70	— 0,855.967	+ 0,144.033	+ 0,088.888	— 0,020.576	— 0,056.249	— 0,730.000	+ 0,270
0,75	— 0,898.127	+ 0,101.873	+ 0,073.660	— 0,017.051	— 0,046.502	— 0,783.482	+ 0,216
0,80	— 0,936.361	+ 0,063.639	+ 0,053.968	— 0,012.493	— 0,036.507	— 0,834.286	+ 0,165
0,85	— 0,970.406	+ 0,029.594	+ 0,029.514	— 0,006.832	— 0,026.562	— 0,881.875	+ 0,118
0,90	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 0,016.964	— 0,925.714	+ 0,074
0,95					— 0,008.011	— 0,965.268	+ 0,034
1,00					— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000



3 Travées. x 0,00

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1'}{l}$, $\frac{M_1'}{l}$ et $\frac{mp_1'}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.								
$\frac{x_1}{l}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,043.035	+ 0,036.070	+ 0,029.105	+ 0,022.140	+ 0,015.176	+ 0,008.211	+ 0,001.246	— 0,005.719	— 0,012.684
0,10	+ **0,086.096**	+ 0,072.193	+ 0,058.289	+ 0,044.386	+ 0,030.482	+ 0,016.578	+ 0,002.675	— 0,011.229	— 0,025.132
0,15	+ 0,079.210	+ 0,108.420	+ 0,087.630	+ 0,066.840	+ 0,046.051	+ 0,025.261	+ 0,004.471	— 0,016.319	— 0,037.109
0,20	+ 0,072.402	+ **0,144.804**	+ 0,117.207	+ 0,089.609	+ 0,062.092	+ 0,034.414	+ 0,006.816	— 0,020.782	— 0,048.379
0,25	+ 0,065.699	+ 0,131.398	+ 0,147.098	+ 0,112.797	+ 0,078.496	+ 0,044.195	+ 0,009.894	— 0,024.406	— 0,058.707
0,30	+ 0,059.127	+ 0,118.254	+ **0,177.381**	+ 0,136.508	+ 0,095.635	+ 0,054.762	+ 0,013.889	— 0,026.984	— 0,067.857
0,35	+ 0,052.712	+ 0,105.424	+ 0,158.136	+ 0,160.848	+ 0,113.560	+ 0,066.271	+ 0,018.983	— 0,028.305	— 0,075.593
0,40	+ 0,046.480	+ 0,092.960	+ 0,139.440	+ **0,185.920**	+ 0,132.400	+ 0,078.880	+ 0,025.360	— 0,028.160	— 0,081.680
0,45	+ 0,040.458	+ 0,080.915	+ 0,121.373	+ 0,161.830	+ 0,152.288	+ 0,092.746	+ 0,033.203	— 0,026.339	— 0,085.882
0,50	+ 0,034.671	+ 0,069.342	+ 0,104.012	+ 0,138.683	+ **0,173.354**	+ 0,108.025	+ 0,042.696	— 0,022.634	— 0,087.963
0,519.615	»	»	»	»	»	»	»	»	— **0,088.802**
0,55	+ 0,029.146	+ 0,058.292	+ 0,087.437	+ 0,116.583	+ 0,145.729	+ 0,124.875	+ 0,054.021	— 0,016.834	— 0,087.688
0,60	+ 0,023.909	+ 0,047.818	+ 0,071.726	+ 0,095.635	+ 0,119.544	+ **0,143.453**	+ 0,067.362	— 0,008.730	— 0,084.821
0,65	+ 0,018.986	+ 0,037.972	+ 0,056.958	+ 0,075.944	+ 0,094.929	+ 0,113.915	+ 0,082.901	+ 0,001.887	— 0,079.127
0,70	+ 0,014.403	+ 0,028.807	+ 0,043.210	+ 0,057.613	+ 0,072.016	+ 0,086.420	+ **0,100.823**	+ 0,015.226	— 0,070.370
0,75	+ 0,010.187	+ 0,020.375	+ 0,030.562	+ 0,040.749	+ 0,050.936	+ 0,061.124	+ 0,071.311	+ 0,031.498	— 0,058.314
0,80	+ 0,006.364	+ 0,012.728	+ 0,019.092	+ 0,025.456	+ 0,031.819	+ 0,038.183	+ 0,044.547	+ **0,050.911**	— 0,042.725
0,85	+ 0,002.969	+ 0,005.919	+ 0,008.878	+ 0,011.838	+ 0,014.797	+ 0,017.756	+ 0,020.716	+ 0,023.675	— 0,023.365
0,90	0.000.000	0.000.000	0.000.000	0.000.000	0.000.000	0.000.000	0.000.000	0.000.000	0.000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 2e TRAVÉE.

3 Travées.

$\alpha = 0{,}90$

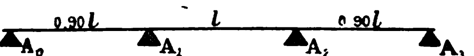


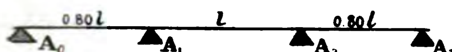
Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.

$\frac{X_2}{l}$ / $\frac{x_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	—0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	—0,022.478	+0,024.049	+0,020.576	+0,017.103	+0,013.629	+0,010.156	+0,006.683	+0,003.210	—0,000.264	—0,003.737	—0,007.210
0,10	—0,040.982	**+0,051.589**	+0,044.161	+0,036.733	+0,029.304	+0,021.875	+0,014.447	+0,007.018	—0,000.410	—0,007.839	—0,015.268
0,15	—0,055.781	+0,032.406	+0,070.594	+0,058.782	+0,046.969	+0,035.157	+0,023.344	+0,011.532	—0,000.281	—0,012.093	—0,023.906
0,20	—0,067.143	+0,016.286	**+0,099.715**	+0,083.144	+0,066.572	+0,050.001	+0,033.430	+0,016.858	+0,000.287	—0,016.285	—0,032.856
0,25	—0,075.335	+0,003.013	+0,081.361	+0,109.711	+0,088.059	+0,066.407	+0,044.755	+0,023.104	+0,001.452	—0,020.200	—0,041.852
0,30	—0,080.625	—0,007.625	+0,065.375	**+0,138.375**	+0,111.376	+0,084.376	+0,057.376	+0,030.376	+0,003.376	—0,023.624	—0,050.624
0,35	—0,083.281	—0,015.843	+0,051.594	+0,119.032	+0,136.470	+0,103.908	+0,071.345	+0,038.783	+0,006.220	—0,026.343	—0,058.905
0,381.305	**—0,083.719**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	—0,083.570	—0,021.856	+0,039.858	+0,101.573	**+0,163.287**	+0,125.001	+0,086.716	+0,048.430	+0,010.144	—0,028.142	—0,066.427
0,45	—0,081.762	—0,025.878	+0,030.006	+0,085.889	+0,141.773	+0,147.658	+0,103.542	+0,059.426	+0,015.310	—0,028.806	—0,072.923
0,50	—0,078.124	—0,028.124	+0,021.876	+0,071.876	+0,121.876	**+0,171.876**	+0,121.876	+0,071.876	+0,021.876	—0,028.124	—0,078.124
0,55	—0,072.923	—0,028.806	+0,015.310	+0,059.426	+0,103.542	+0,147.658	+0,141.773	+0,085.889	+0,030.006	—0,025.878	—0,081.762
0,60	—0,066.427	—0,028.142	+0,010.144	+0,048.430	+0,086.716	+0,125.001	**+0,163.287**	+0,101.573	+0,039.858	—0,021.856	—0,083.570
0,618.695	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**—0,083.719**
0,65	—0,058.905	—0,026.343	+0,006.220	+0,038.783	+0,071.345	+0,103.908	+0,136.470	+0,119.032	+0,051.594	—0,015.843	—0,083.281
0,70	—0,050.624	—0,023.624	+0,003.376	+0,030.376	+0,057.376	+0,084.376	+0,111.376	**+0,138.375**	+0,065.375	—0,007.625	—0,080.625
0,75	—0,041.852	—0,020.200	+0,001.452	+0,023.104	+0,044.755	+0,066.407	+0,088.059	+0,109.711	+0,081.361	+0,003.013	—0,075.335
0,80	—0,032.856	—0,016.285	+0,000.287	+0,016.858	+0,033.430	+0,050.001	+0,066.572	+0,083.144	**+0,099.715**	+0,016.286	—0,067.143
0,85	—0,023.906	—0,012.093	—0,000.281	+0,011.532	+0,023.344	+0,035.157	+0,046.969	+0,058.782	+0,070.594	+0,032.406	—0,055.781
0,90	—0,015.268	—0,007.839	—0,000.410	+0,007.018	+0,014.447	+0,021.875	+0,029.304	+0,036.733	+0,044.161	**+0,051.589**	—0,040.982
0,95	—0,007.210	—0,003.737	—0,000.264	+0,003.210	+0,006.683	+0,010.156	+0,013.629	+0,017.103	+0,020.576	+0,024.049	—0,022.478
1,00	0,000.000	—0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

3e Cas.

3 Travées. $\alpha = 0,80$



Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,644.744l	0,155.256l
F_1^2	0,217.391l	0,782.609l
F_2^2	0,782.609l	0,217.391l
F_1^3	0,155.256l	0,644.744l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,461.880l	0,338.120l
I_1^2	0,378.627l	0,631.373l
I_2^2	0,631.373l	0,378.627l
I_1^3	0,338.120l	0,461.880l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée:

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = + 0,351.839\ p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = + 0,049.231\ p_1 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = - 0,013.378\ p_1 l.$

2e travée seule chargée:

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = - 0,067.935\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = + 0,500.000\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = + 0,067.935\ p_2 l.$

3e travée seule chargée:

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = + 0,013.378\ p_3 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = - 0,049.231\ p_3 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = + 0,448.161\ p_3 l - p_3 X_3.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = + 0{,}297.282\, pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = + 0{,}500.000\, pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = + 0{,}502.718\, pl - pX_3.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1{}^1 = + 0{,}351.839\, p_1 lX_1 - 0{,}50\, p_1 X_1{}^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2{}^1 = - 0{,}038.528\, p_1 l^2 + 0{,}049.231\, p_1 lX_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3{}^1 = + 0{,}010.703\, p_1 l^2 - 0{,}013.378\, p_1 lX_3.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1{}^2 = - 0{,}067.935\, p_2 lX_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2{}^2 = - 0{,}054.340\, p_2 l^2 + 0{,}50\, p_2 lX_2 - 0{,}50\, p_2 X_2{}^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3{}^2 = - 0{,}054.348\, p_2 l^2 + 0{,}067.935\, p_2 lX_3.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1{}^3 = + 0{,}013.378\, p_3 lX_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2{}^3 = + 0{,}010.703\, p_3 l^2 - 0{,}049.231\, p_3 lX_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3{}^3 = - 0{,}038.528\, p_3 l^2 + 0{,}448.161\, p_3 lX_3 - 0{,}50\, p_3 X_3{}^2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = + 0{,}297.282\, plX_1 - 0{,}50\, pX_1{}^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2 = - 0{,}082.173\, pl^2 + 0{,}50\, plX_2 - 0{,}50\, pX_2{}^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = - 0{,}082.173\, pl^2 + 0{,}502.718\, plX_3 - 0{,}50\, pX_3{}^2.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée

$\mu_{P_1}{}^1 = - 0{,}038.528\, p_1 l^2.$ Moment sur pile n° 1.

$\mu_{P_2}{}^1 = + 0{,}010.703\, p_1 l^2.$ Moment sur pile n° 2.

2e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^2 = -0,054.348\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^2 = -0,054.348\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
3e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^3 = +0,010.703\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^3 = -0,038.528\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
Toutes les travées également chargées	$\mu_{P_1} = -0,082.173\ pl^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2} = -0,082.173\ pl^2.$	Moment sur pile n° 2.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1{}^1 = -1,551.003\frac{x_1}{l} + 0,470.318\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1{}^1 = 1 - 1,551.003\frac{x_1}{l} + 0,470.318\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2{}^1 = +0,307.692\frac{x_1}{l} - 0,480.769\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3{}^1 = -0,083.612\frac{x_1}{l} + 0,130.644\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1{}^2 = -0,647.993\frac{x_2}{l} + 1,128\ 763\frac{x_2^2}{l^2} - 0,480.769\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2{}^2 = -0,615.385\frac{x_2}{l} - 1,153.846\frac{x_2^2}{l^2} + 0,769.231\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2{}^2 = 1 - 0,615.385\frac{x_2}{l} - 1,153.846\frac{x_2^2}{l^2} + 0,769.231\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = y_2^1 \frac{X_2}{l} + \alpha y_1^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^1}{l} = y_3^1 \frac{X_3}{l} + \frac{1}{l} m_{P_2}^1.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = y_2^2 \frac{X_2}{l} + \alpha Y_1^2 + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = Y_2^2 \frac{X_2}{l} + \alpha Y_1^2.$$

Moments sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{m_{P_1}^1}{l} = \alpha y_1^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^1}{l} = \alpha y_1^1 + \frac{x_1}{l} + y_2^1.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}^2}{l} = \alpha Y_1^2.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^2}{l} = \alpha Y_1^2 + y_2^2 + \frac{x_2}{l}.$$

EFFORTS TRANCHANTS.

[T]ravées. $\alpha = 0,80$

[...] faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE				MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 3e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$				$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$
	$y_1{}^1$	$Y_1{}^1$	$y_2{}^1$	$y_3{}^1$	$Y_1{}^2$	$y_2{}^2$	$Y_2{}^2$
	0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0.000.000	0,000.000	+ 1,000.000
	− 0,077.491	+ 0,922.509	+ 0,015.325	− 0,004.165	− 0,029.638	− 0,033.558	+ 0,966.442
	− 0,154.630	+ 0,845.370	+ 0,030.289	− 0,008.231	− 0,053.993	− 0,072.308	+ 0,927.692
	− 0,231.063	+ 0,768.937	+ 0,044.532	− 0,012.101	− 0,073.425	− 0,115.673	+ 0.884.327
	− 0,306.438	+ 0,693.562	+ 0,057.693	− 0,015.677	− 0,088.295	− 0,163.077	+ 0,836.923
	− 0,380.402	+ 0,619.598	+ 0,069.412	− 0,018.861	− 0,098.963	− 0,213.942	+ 0,786.058
	− 0,452.602	+ 0,547.398	+ 0,079.328	− 0,021.556	− 0,105.790	− 0,267.692	+ 0,732.308
	− 0,522.686	+ 0,477.314	+ 0,087.080	− 0,023.663	− 0,109.137	− 0,323.750	+ 0,676.250
.627	»	»	»	»	− 0,109.626	»	»
	− 0.590.301	+ 0,409.699	+ 0,092.308	− 0,025.084	− 0.109.364	− 0,381.538	+ 0,618.462
	− 0.655.094	+ 0,344.906	+ 0,094.652	− 0,025.721	− 0,106.832	− 0,440.481	+ 0,559.519
98	− 0,670.035	+ 0,329.965	+ 0,094.745	− 0,025.746	»	»	»
	− 0.716.712	+ 0,283.288	+ 0,093.751	− 0,025.476	− 0,101.902	− 0,500.000	+ 0,500.000
	− 0,774.803	+ 0,225.197	+ 0,089.244	− 0,024.251	− 0,094.933	− 0,559.519	+ 0,440.481
	− 0,829.014	+ 0,170.986	+ 0,080.770	− 0,021.948	− 0,086.287	− 0,618.462	+ 0,381.538
	»	»	»	»	»	»	»
	− 0.878.992	+ 0,121.008	+ 0,067.970	− 0,018.470	− 0,076.324	− 0,676.250	+ 0.323.750
	− 0,924.384	+ 0,075.616	+ 0,050.482	− 0,013.718	− 0,065.405	− 0,732.308	+ 0,267.692
	− 0,964.838	+ 0,035.162	+ 0,027.946	− 0,007.594	− 0,053.890	− 0,786.058	+ 0,213.942
	− 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	− 0,042.140	− 0,836.923	+ 0,163.077
					− 0,030.515	− 0,884.327	+ 0,115.673
					− 0,019.378	− 0,927.692	+ 0,072.308
					− 0,009.084	− 0,966.442	+ 0,033.558
					0,000.000	− 1,000.000	0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 1re TRAVÉE.

3 Travées. $\alpha = 0,80$



Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE							
$\frac{X_1}{l}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
$\frac{x_1}{l}$								
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,042.251	+ 0,034.502	+ 0,026.753	+ 0,019.004	+ 0,011.552	+ 0,003.505	— 0,004.244	— 0,011.993
0,10	+ **0,084.537**	+ 0,069.074	+ 0,053.611	+ 0,038.148	+ 0,022.685	+ 0,007.222	— 0,008.241	— 0,023.704
0,15	+ 0,076.894	+ 0,103.787	+ 0,080.681	+ 0,057.575	+ 0,034.469	+ 0,011.362	— 0,011.744	— 0,034.850
0,20	+ 0,069.356	+ **0,138.712**	+ 0,108.069	+ 0,077.425	+ 0,046.781	+ 0,016.137	— 0,014.507	— 0,045.150
0,25	+ 0,061.960	+ 0,123.920	+ 0,135.879	+ 0,097.839	+ 0,059.799	+ 0,021.759	— 0,016.281	— 0,054.322
0,30	+ 0,054.740	+ 0,109.480	+ **0,164.219**	+ 0,118.959	+ 0,073.699	+ 0,028.439	— 0,016.821	— 0,062.082
0,35	+ 0,047.731	+ 0,095.463	+ 0,143.194	+ 0,140.926	+ 0,088.657	+ 0,036.388	— 0,015.880	— 0,068.149
0,40	+ 0,040.970	+ 0,081.940	+ 0,122.910	+ **0,163.889**	+ 0,104.850	+ 0,045.819	— 0,013.211	— 0,072.241
0,45	+ 0,034.491	+ 0,068.981	+ 0,103.472	+ 0,137.962	+ 0,122.453	+ 0,056.944	— 0,008.566	— 0,074.075
0,46188	»	»	»	»	»	»	»	— **0,074.148**
0,50	+ 0,028.329	+ 0,056.658	+ 0,084.986	+ 0,113.315	+ **0,141.644**	+ 0,069.973	— 0,001.698	— 0,073.370
0,55	+ 0,022.520	+ 0,045.039	+ 0,067.559	+ 0,090.079	+ 0,112.599	+ 0,085.118	+ 0,007.638	— 0,069.842
0,60	+ 0,017.099	+ 0,034.197	+ 0,051.296	+ 0,068.394	+ 0,085.403	+ **0,102.592**	+ 0,019.690	— 0,063.211
0,65	+ 0,012.101	+ 0,024.202	+ 0,036.302	+ 0,048.403	+ 0,060.504	+ 0,072.605	+ 0,034.706	— 0,053.194
0,70	+ 0,007.562	+ 0,015.123	+ 0,022.685	+ 0,030.240	+ 0,037.808	+ 0,045.370	+ **0,052.931**	— 0,039.507
0,75	+ 0,003.616	+ 0,007.032	+ 0,010.549	+ 0,014.005	+ 0,017.581	+ 0,021.007	+ 0,024.613	— 0,021.870
[illegible]					[illegible]	0,000.000	0,000.000	0,000.000

3 Travées. $\alpha = 0,80$

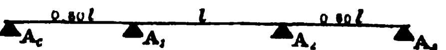
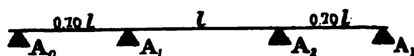


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE.										
$\frac{x_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,023.710	+0,022.935	+0,019.579	+0,016.223	+0,012.868	+0,009.512	+0,006.156	+0,002.800	−0,000.556	−0,003.911	−0,007.267
0,10	−0,043.194	**+0,049.575**	+0,042.346	+0,035.115	+0,027.884	+0,020.653	+0,013.422	+0,006.192	−0,001.039	−0,008.270	−0,015.501
0,15	−0,058.740	+0,029.693	+0,068.127	+0,056.560	+0,044.992	+0,033.425	+0,021.858	+0,010.290	−0,001.277	−0,012.845	−0,024.412
0,20	−0,070.636	+0,013.056	**+0,096.749**	+0,080.443	+0,064.135	+0,047.827	+0,031.519	+0,015.211	−0,001.096	−0,017.404	−0,033.712
0,25	−0,079.170	−0,000.565	+0,078.041	+0,106.648	+0,085.254	+0,063.860	+0,042.465	+0,021.071	−0,000.323	−0,021.718	−0,043.112
0,30	−0,084.632	−0,011.401	+0,061.830	**+0,135.060**	+0,108.292	+0,081.523	+0,054.753	+0,027.984	+0,001.215	−0,025.555	−0,052.324
0,35	−0,087.310	−0,019.685	+0,047.940	+0,115.565	+0,133.191	+0,100.816	+0,068.441	+0,036.066	+0,003.691	−0,028.684	−0,061.059
0,378.627	**−0,087.700**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,087.491	−0,025.645	+0,036.201	+0,098.047	**+0,159.894**	+0,121.740	+0,083.586	+0,045.432	+0,007.278	−0,030.876	−0,069.030
0,45	−0,085.466	−0,029.514	+0,026.438	+0,082.390	+0,138.342	+0,144.294	+0,100.245	+0,056.197	+0,012.149	−0,031.898	−0,075.947
0,50	−0,081.522	−0,031.522	+0,018.479	+0,068.479	+0,118.479	**+0,168.478**	+0,118.479	+0,068.479	+0,018.479	−0,031.522	−0,081.522
0,55	−0,075.946	−0,031.898	+0,012.150	+0,056.198	+0,100.246	+0,144.295	+0,138.343	+0,082.391	+0,026.439	−0,029.513	−0,085.465
0,60	−0,069.030	−0,030.876	+0,007.278	+0,045.431	+0,083.585	+0,121.739	**+0,159.893**	+0,098.047	+0,036.200	−0,025.646	−0,087.492
0,621.373	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,087.700**
0,65	−0,061.059	−0,028.684	+0,003.691	+0,036.066	+0,068.441	+0,100.816	+0,133.191	+0,115.566	+0,047.941	−0,019.684	−0,087.309
0,70	−0,052.324	−0,025.555	+0,001.214	+0,027.984	+0,054.753	+0,081.522	+0,108.291	**+0,135.060**	+0,061.830	−0,011.401	−0,084.632
0,75	−0,043.112	−0,021.718	−0,000.323	+0,021.071	+0,042.465	+0,063.859	+0,085.253	+0,106.647	+0,078.042	−0,000.564	−0,079.170
0,80	−0,033.712	−0,017.404	−0,001.096	+0,015.211	+0,031.519	+0,047.827	+0,064.134	+0,080.442	**+0,096.750**	+0,013.057	−0,070.635
0,85	−0,024.412	−0,012.845	−0,001.277	+0,010.290	+0,021.857	+0,033.425	+0,044.992	+0,056.559	+0,068.126	+0,029.694	−0,058.739
0,90	−0,015.501	−0,008.270	−0,001.039	+0,006.192	+0,013.422	+0,020.653	+0,027.884	+0,035.115	+0,042.346	**+0,049.576**	−0,043.194
0,95	−0,007.267	−0,003.911	−0,000.556	+0,002.800	+0,006.156	+0,009.512	+0,012.868	+0,016.223	+0,019.579	+0,022.935	−0,023.710
1,00	0.000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

4e Cas.

3 Travées. $\alpha = 0,70$



Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,571.252l	0,128.748l
F_1^2	0,227.273l	0,772.727l
F_2^2	0,772.727l	0,227.273l
F_1^3	0,128.748l	0,571.252l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,404.145l	0,295.855l
I_1^2	0,375.582l	0,624.418l
I_2^2	0,624.418l	0,375.582l
I_1^3	0,295.855l	0,404.145l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = + 0,310.559\, p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = + 0,035.730\, p_1 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = - 0,011.601\, p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = - 0,081.169\, p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = + 0,50\, p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = + 0,081.169\, p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = + 0,011.601\, p_3 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = - 0,035.730\, p_3 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = + 0,389.441\, p_3 l - p_3 X_3.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$T_1 = + 0{,}240.991\, pl - pX_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$T_2 = + 0{,}50\, pl - pX_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$T_3 = + 0{,}459.009\, pl - pX_3.$$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^1 = + 0{,}310.559\, p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^1 = + 0{,}035.730\, p_1 l X_2 - 0{,}027.609\, p_1 l^2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^1 = - 0{,}011.601\, p_1 l X_3 + 0{,}008.121\, p_1 l^2.$$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^2 = - 0{,}081.169\, p_2 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^2 = + 0{,}50\, p_2 l X_2 - 0{,}056.818\, p_1 l^2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^2 = + 0{,}081.169\, p_2 l X_3 - 0{,}056.818\, p_2 l^2.$$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^3 = + 0{,}011.601\, p_3 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^3 = - 0{,}035.730\, p_3 l X_2 + 0{,}008.121\, p_3 l^2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^3 = + 0{,}389.441\, p_3 l X_3 - 0{,}027.609\, p_3 l^2 - p_3 \frac{X_3^2}{2}.$$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = + 0{,}240.991\, plX_1 - \frac{pX_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = + 0{,}50\, plX_2 - p\frac{X_2^2}{2} - 0{,}076.306\, pl^2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3 = + 0{,}459.009\, plX_3 - 0{,}076.306\, pl^2 - p\frac{X_3^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée

Moment sur pile n° 1.

$$\mu p_1{}^1 = -\ 0{,}027.609\ p_1 l^2.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\mu p_2{}^1 = +\ 0{,}008.121\ p_1 l^2.$$

2e travée seule chargée

Moment sur pile n° 1.

$$\mu p_1{}^2 = -\ 0{,}056.818\ p_2 l^2.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\mu p_2{}^2 = +\ 0{,}056.818\ p_2 l^2.$$

3e travée seule chargée

Moment sur pile n° 1.

$$\mu p_1{}^3 = +\ 0{,}008.121\ p_3 l^2.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\mu p_2{}^3 = -\ 0{,}027.609\ p_3 l^2.$$

Toutes les travées également chargées

Moment sur pile n° 1.

$$\mu p_1 = -\ 0{,}076.306\ p l^2.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\mu p_2 = -\ 0{,}076.306\ p l^2.$$

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1{}^1 = -\ 1{,}750.540\ \frac{x_1}{l} + 0{,}657.080\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1{}^1 = 1 - 1{,}750.540\ \frac{x_1}{l} + 0{,}657.080\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2{}^1 = +\ 0{,}291.667\ \frac{x_1}{l} - 0{,}595.238\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3{}^1 = -\ 0{,}094.697\ \frac{x_1}{l} + 0{,}193.259\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1{}^2 = -\ 0{,}784.633\ \frac{x_2}{l} + 1{,}379.871\ \frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}595.238\ \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2{}^2 = -\ 0{,}583.333\ \frac{x_2}{l} - 1{,}25\ \frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}833.333\ \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2{}^2 = 1 - 0{,}583.333\ \frac{x_2}{l} - 1{,}25\ \frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}833.333\ \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1{}^1}{l} = y_1{}^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1{}^1}{l} = Y_1{}^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2{}^1}{l} = \alpha y_1{}^1 + \frac{x_1}{l} + y_2{}^1 \frac{X_2}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1{}^2}{l} = Y_1{}^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2{}^2}{l} = \alpha Y_1{}^2 + y_2{}^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2{}^2}{l} = \alpha Y_1{}^2 + Y_2{}^2 \frac{X_2}{l}.$$

Moments sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 = \alpha y_1{}^1 + \frac{x_1}{l}.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{1}{l} m_{P_2}{}^1 = \alpha y_1{}^1 + \frac{x_1}{l} + y_2{}^1.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur la pile n° 1.

$$\frac{1}{l} M_{P_1}{}^2 = \alpha Y_1{}^2.$$

Moment sur la pile n° 2.

$$\frac{1}{l} m_{P_2}{}^2 = \alpha Y_1{}^2 + y_2{}^2 + \frac{x_2}{l}.$$

EFFORTS TRANCHANTS.

3 Travées. $\alpha = 0{,}70$

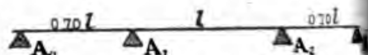


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranch

pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE				MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 3e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$				$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	y_3^1	Y_1^2	y_2^2	Y_2^2
0,00	0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+ 1,00[illegible]
0,05	— 0,087.445	+ 0,912.555	+ 0,014.509	— 0,004.711	— 0,035.856	— 0,032.188	+ 0,96[illegible]
0,10	— 0,174.397	+ 0,825.603	+ 0,028.571	— 0,009.276	— 0,065.260	— 0,070.000	+ 0,93[illegible]
0,15	— 0,260.363	+ 0,739.637	+ 0,041.741	— 0,013.552	— 0,088.657	— 0,112.812	+ 0,8[illegible]
0,20	— 0,344.851	+ 0,655.149	+ 0,053.571	— 0,017.393	— 0,106.493	— 0,160.000	+ 0,84[illegible]
0,25	— 0,427.368	+ 0,572.632	+ 0,063.616	— 0,020.655	— 0,119.217	— 0,210.938	+ 0,78[illegible]
0,30	— 0,507.421	+ 0,492.579	+ 0,071.429	— 0,023.191	— 0,127.273	— 0,265.000	+ 0,73[illegible]
0,35	— 0,584.517	+ 0,415.483	+ 0,076.563	— 0,024.858	— 0,131.108	— 0,321.562	+ 0,67[illegible]
0,375.582	»	»	»	»	— **0,131.593**	»	»
0,40	— 0,658.163	+ 0,341.837	+ 0,078.572	— 0,025.510	— 0,131.169	— 0,380.000	+ 0,62[illegible]
0,404.145	»	»	+ **0,078.583**	— **0,025.514**	»	»	»
0,45	— 0,727.867	+ 0,272.133	+ 0,077.009	— 0,025.003	— 0,127.902	— 0,439.688	+ 0,56[illegible]
0,50	— 0,793.135	+ 0,206.865	+ 0,071.429	— 0,023.191	— 0,121.753	— 0,500.000	+ 0,50[illegible]
0,55	— 0,853.475	+ 0,146.525	+ 0,061.384	— 0,019.930	— 0,113.170	— 0,560.312	+ 0,43[illegible]
0,60	— 0,908.395	+ 0,091.605	+ 0,046.429	— 0,015.074	— 0,102.597	— 0,620.000	+ 0,380[illegible]
0,65	— 0,957.400	+ 0,042.600	+ 0,026.116	— 0,008.479	— 0,090.483	— 0,678.438	+ 0,321[illegible]
0,70	— 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	— 0,077.273	— 0,735.000	+ 0,265[illegible]
0,75					— 0,063.413	— 0,789.062	+ 0,210[illegible]
0,80					— 0,049.350	— 0,840.000	+ 0,160[illegible]
0,85					— 0,035.532	— 0,887.188	+ 0,112[illegible]
0,90					— 0,022.403	— 0,930.000	+ 0,070[illegible]
0,95					— 0,010.410	— 0,967.812	+ 0,032[illegible]
1,00					0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000[illegible]

3 Travées. $\alpha = 0,70$

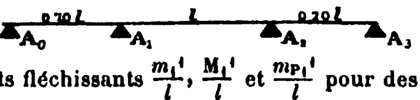


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}'}{l}$, $\frac{M_1{}'}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}'}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.						
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
$\frac{x_1}{l}$							
0,00	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,041.256	+ 0,032.611	+ 0,023.767	+ 0,015.022	+ 0,006.278	— 0,002.467	— 0,011.212
0,10	+ **0,082.560**	+ 0,065.121	+ 0,047.681	+ 0,030.242	+ 0,012.801	— 0,004.638	— 0,022.078
0,15	+ 0,073.964	+ 0,097.927	+ 0,071.891	+ 0,045.855	+ 0,019.819	— 0,006.218	— 0,032.254
0,20	+ 0,065.515	+ **0,131.030**	+ 0,096.545	+ 0,062.060	+ 0,027.575	— 0,006.911	— 0,041.396
0,25	+ 0,057.263	+ 0,114.526	+ 0,121.790	+ 0,079.053	+ 0,036.316	— 0,006.421	— 0,049.158
0,30	+ 0,049.258	+ 0,098.516	+ **0,147.774**	+ 0,097.032	+ 0,046.290	— 0,004.453	— 0,055.195
0,35	+ 0,041.548	+ 0,083.097	+ 0,124.645	+ 0,116.193	+ 0,057.741	— 0,000.710	— 0,059.162
0,40	+ 0,034.184	+ 0,068.367	+ 0,102.551	+ **0,136.735**	+ 0,070.919	+ 0,005.102	— 0,060.714
0,404.145	»	»	»	»	»	»	— **0,060.723**
0,45	+ 0,027.213	+ 0,054.427	+ 0,081.640	+ 0,108.853	+ 0,086.067	+ 0,013.280	— 0,059.507
0,50	+ 0,020.687	+ 0,041.373	+ 0,062.060	+ 0,082.746	+ **0,103.433**	+ 0,024.119	— 0,055.195
0,55	+ 0,014.653	+ 0,029.305	+ 0,043.958	+ 0,058.610	+ 0,073.263	+ 0,037.915	— 0,047.433
0,60	+ 0,009.161	+ 0,018.321	+ 0,027.482	+ 0,036.642	+ 0,045.803	+ **0,054.963**	— 0,035.877
0,65	+ 0,004.260	+ 0,008.520	+ 0,012.780	+ 0,017.040	+ 0,021.300	+ 0,025.560	— 0,020.180
0,70	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 2e TRAVÉE.

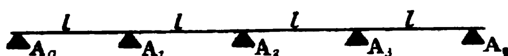
3 Travées. $\alpha = 0,70$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE.										
$\frac{X_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_2}{l}$											
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,025.099	+0,021.682	+0,018.463	+0,015.245	+0,012.026	+0,008.807	+0,005.589	+0,002.369	−0,000.849	−0,004.068	−0,007.287
0,10	−0,045.682	**+0,047.318**	+0,040.318	+0,033.318	+0,026.318	+0,019.318	+0,012.318	+0,005.318	−0,001.682	−0,008.682	−0,015.682
0,15	−0,062.060	+0,026.659	+0,065.378	+0,054.097	+0,042.815	+0,031.534	+0,020.253	+0,008.972	−0,002.310	−0,013.591	−0,024.872
0,20	−0,074.545	+0,009.455	**+0,093.455**	+0,077.455	+0,061.455	+0,045.455	+0,029.455	+0,013.455	−0,002.545	−0,018.545	−0,034.545
0,25	−0,083.452	−0,004.545	+0,074.360	+0,103.267	+0,082.173	+0,061.080	+0,039.986	+0,018.892	−0,002.201	−0,023.295	−0,044.389
0,30	−0,089.091	−0,015.591	+0,057.909	**+0,131.409**	+0,104.909	+0,078.409	+0,051.909	+0,025.409	−0,001.091	−0,027.591	−0,054.091
0,35	−0,091.775	−0,023.932	+0,043.912	+0,111.756	+0,129.600	+0,097.443	+0,065.287	+0,033.131	+0,000.975	−0,031.181	−0,063.337
0,375.582	**−0,092.115**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,091.818	−0,029.818	+0,032.182	+0,094.182	**+0,156.182**	+0,118.182	+0,080.182	+0,042.182	+0,004.182	−0,033.818	−0,071.818
0,45	−0,089.531	−0,033.500	+0,022.532	+0,078.563	+0,134.594	+0,140.625	+0,096.656	+0,052.688	+0,008.719	−0,035.250	−0,079.219
0,50	−0,085.227	−0,035.227	+0,014.773	+0,064.773	+0,114.773	**+0,164.773**	+0,114.773	+0,064.773	+0,014.773	−0,035.227	−0,085.227
0,55	−0,079.219	−0,035.250	+0,008.719	+0,052.687	+0,096.656	+0,140.625	+0,134.594	+0,078.563	+0,022.532	−0,033.500	−0,089.531
0,60	−0,071.818	−0,033.818	+0,004.182	+0,042.182	+0,080.182	+0,118.182	**+0,156.182**	+0,094.182	+0,032.182	−0,029.818	−0,091.818
0,624.418	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,092.115**
0,65	−0,063.337	−0,031.181	+0,000.975	+0,033.131	+0,065.287	+0,097.443	+0,129.600	+0,111.756	+0,043.912	−0,023.932	−0,091.775
0,70	−0,054.091	−0,027.591	−0,001.091	+0,025.409	+0,051.909	+0,078.409	+0,104.909	**+0,131.409**	+0,057.909	−0,015.591	−0,089.091
0,75	−0,044.389	−0,023.295	−0,002.201	+0,018.892	+0,039.986	+0,061.080	+0,082.173	+0,103.267	+0,074.360	−0,004.546	−0,083.452
0,80	−0,034.545	−0,018.545	−0,002.545	+0,013.455	+0,029.455	+0,045.455	+0,061.455	+0,077.455	**+0,093.455**	+0,009.455	−0,074.545
0,85	−0,024.872	−0,013.591	−0,002.310	+0,008.972	+0,020.253	+0,031.534	+0,042.815	+0,054.097	+0,065.378	+0,026.659	−0,062.060
0,90	−0,015.682	−0,008.682	−0,001.682	+0,005.318	+0,012.318	+0,019.318	+0,026.318	+0,033.318	+0,040.318	**+0,047.318**	−0,045.682
0,95	−0,007.287	−0,004.068	−0,000.849	+0,002.369	+0,005.589	+0,008.807	+0,012.026	+0,015.245	+0,018.463	+0,021.682	−0,025.099
1,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

§ 4. — Poutres reposant sur cinq appuis.

1er Cas.



4 Travées. $\alpha = 1,00$

Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,788.732l	0,211.268l
F_1^2	0,200.000l	0,800.000l
F_2^2	0,789.474l	0,210.526l
F_1^3	0,210.526l	0,789.474l
F_2^3	0,800.000l	0,200.000l
F_1^4	0,211.268l	0,788.732l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,577.350l	0,422.650l
I_1^2	0,380.661l	0,619.339l
I_2^2	0,616 333l	0,383.667l
I_1^3	0,383.667l	0,616.333l
I_2^3	0,619.339l	0,380.661l
I_1^4	0,422.650l	0,577.350l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = + 0,433.036\ p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = + 0,084.821\ p_1 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = - 0,022.321\ p_1 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^1 = + 0,004.464\ p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = - 0,049.107\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = + 0,495.536\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = + 0,066.964\ p_2 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^2 = - 0,013.393\ p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^3 = + 0{,}013.393\, p_3 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^3 = - 0{,}066.964\, p_3 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^3 = + 0{,}504.464\, p_3 l - p_3 X_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^3 = + 0{,}049.107\, p_3 l.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^4 = - 0{,}004.464\, p_4 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^4 = + 0{,}022.321\, p_4 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^4 = - 0{,}084.821\, p_4 l.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^4 = + 0{,}566.964\, p_4 l - p_4 X_4.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = + 0{,}392.858\, pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = + 0{,}535.714\, pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = + 0{,}464.286\, pl - pX_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4 = + 0{,}607.142\, pl - pX_4.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = + 0{,}433.036\, p_1 l X_1 - 0{,}50\, p_1 X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = - 0{,}066.964\, p_1 l^2 + 0{,}084.821\, p_1 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = + 0{,}017.857\, p_1 l^2 - 0{,}022.321\, p_1 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^1 = - 0{,}004.464\, p_1 l^2 + 0{,}004.464\, p_1 l X_4.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = - 0{,}049.107\, p_2 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = - 0{,}049.107\, p_2 l^2 + 0{,}495.536\, p_2 l X_2 - 0{,}50\, p^2 X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = - 0{,}053.571\, p_2 l^2 + 0{,}066.964\, p_2 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^2 = + 0{,}013.393\, p_2 l^2 - 0{,}013.393\, p_2 l X_4.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = + 0{,}013.393\ p_3 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = + 0{,}013.393\ p_3 l X_2 - 0{,}066.964\ p_3 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_2^3 = - 0{,}053.571\ p_3 l^2 + 0{,}504.464\ p_3 l X_3 - 0{,}50\ p_3 X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^3 = - 0{,}049.107\ p_3 l^2 + 0{,}049.107\ p_3 l X_4.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^4 = - 0{,}004.464\ p_4 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^4 = - 0{,}004.464\ p_4 l^2 + 0{,}022.321\ p_4 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^4 = + 0{,}017.857\ p_4 l^2 - 0{,}084.821\ p_4 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^4 = - 0{,}066.964\ p_4 l^2 + 0{,}566.964\ p_4 l X_4 - 0{,}50\ p_1 X_4^2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = + 0{,}392.858\ p l X_1 - 0{,}50\ p X_1^2.$

Section dans la 2e travée,

$\mu_2 = - 0{,}107.142\ p l^2 + 0{,}535.714\ p l X_2 - 0{,}50\ p X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = - 0{,}071.428\ p l^2 + 0{,}464.286\ p l X_3 - 0{,}50\ p X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4 = - 0{,}107.142\ p l^2 + 0{,}607.142\ p l X_4 - 0{,}50\ p X_4^2.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	$\mu_{P_1}^1 = - 0{,}066.964\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^1 = + 0{,}0178.57\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^1 = - 0{,}004.464\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
2e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^2 = - 0{,}049.107\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^2 = - 0{,}053.571\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^2 = + 0{,}013.393\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
3e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^3 = + 0{,}013.393\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^3 = - 0{,}053.571\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^3 = - 0{,}049.107\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
4e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^4 = - 0{,}004.464\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^4 = + 0{,}017.857\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^4 = - 0{,}066.964\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
Toutes les travées également chargées	$\mu_{P_1} = - 0{,}107.142\ p l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2} = - 0{,}071.428\ p l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3} = - 0{,}107.142\ p l^2.$	Moment sur pile n° 3.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -1,267.858 \frac{x_1}{l} + 0,267.858 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1,267.858 \frac{x_1}{l} + 0,267.858 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = +0,339.287 \frac{x_1}{l} - 0,339.287 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^1 = -0,089\ 286 \frac{x_1}{l} + 0,089.286 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^1 = +0,017.857 \frac{x_1}{l} - 0,017.857 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0,464.286 \frac{x_2}{l} + 0,803.572 \frac{x_2^2}{l^2} - 0,339.286 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -0,678.571 \frac{x_2}{l} - 1,017.857 \frac{x_2^2}{l^2} + 0,696.428 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0,678.571 \frac{x_2}{l} - 1,017.857 \frac{x_2^2}{l^2} + 0,696.428 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^2 = +0,178.571 \frac{x_2}{l} + 0,267.856 \frac{x_2^2}{l^2} - 0,446.427 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^2 = -0,035.714 \frac{x_2}{l} - 0,053.571 \frac{x_2^2}{l^2} + 0,089.285 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_1}^1 + y_2^1 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^1}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_2}^1 + y_3^1 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4^1}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_3}^1 + y_4^1 \frac{X_4}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l}\, M_{P_1}^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x^2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l}\, M_{P_1}^2 + Y_2^2 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^2}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_2}^2 + y_3^2 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4^2}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_3}^2 + y_4^2 \frac{X_4}{l}.$$

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{m_{P_1}{}^1}{l} = -\ 0{,}267.858\ \frac{x_1}{l} + 0{,}267.858\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}{}^1}{l} = +\ 0{,}071.428\ \frac{x_1}{l} - 0{,}071.428\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}{}^1}{l} = -\ 0{,}017.857\ \frac{x_1}{l} + 0{,}017.857\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}{}^2}{l} = -0{,}464.286\frac{x_2}{l} + 0{,}803.572\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}339.286\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}{}^2}{l} = -0{,}142.857\frac{x_2}{l} - 0{,}214.285\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}357.142\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}{}^2}{l} = +0{,}035.714\frac{x_2}{l} + 0{,}053.571\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}089.285\frac{x_2^3}{l^3}.$$

EFFORTS TRANCHANTS.

$\alpha = 1,00.$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence de l'effort tranchant pour les valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

4 Travées.

Table faisant connaître les ordonnées des [illegible]

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE				
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		Section dans la 2e travée	Section dans la 3e travée	Section dans la 4e travée
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$			
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	y_3^1	y_4^1
0,00	0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000[illegible]
0,05	− 0,063.359	+ 0,936.641	+ 0,016.922	− 0,004.453	+ 0,000[illegible]
0,10	− 0,126.517	+ 0,873.483	+ 0,033.589	− 0,008.839	+ 0,001[illegible]
0,15	− 0,189.275	+ 0,810.725	+ 0,049.748	− 0,013.092	+ 0,002[illegible]
0,20	− 0,251.429	+ 0,748.571	+ 0,065.143	− 0,017.143	+ 0,003[illegible]
0,25	− 0,312.779	+ 0,687.221	+ 0,079.520	− 0,020.935	+ 0,004[illegible]
0,30	− 0,373.125	+ 0,626.875	+ 0,092.625	− 0,024.365	+ 0,004[illegible]
0,35	− 0,432.266	+ 0,567.734	+ 0,104.204	− 0,027.422	+ 0,005[illegible]
0,380.661	»	»	»	»	»
0,40	− 0,490.000	+ 0,510.000	+ 0,114.001	− 0,030.000	+ 0,006[illegible]
0,45	− 0,546.128	+ 0,453.872	+ 0,121.762	− 0,032.043	+ 0,006[illegible]
0,50	− 0,600.447	+ 0,399.553	+ 0,127.233	− 0,033.482	+ 0,006[illegible]
0,55	− 0,652.757	+ 0,347.243	+ 0,130.159	− 0,034.252	+ 0,006[illegible]
0,577.350	− 0,680.448	+ 0,319.552	+ 0,130.591	− 0,034.305	+ 0,006[illegible]
0,60	− 0,702.857	+ 0,297.143	+ 0,130.286	− 0,034.286	+ 0,006[illegible]
0,616.333	»	»	»	»	»
0,65	− 0,750.547	+ 0,249.453	+ 0,127.360	− 0,033.516	+ 0,006[illegible]
0,70	− 0,795.625	+ 0,204.375	+ 0,121.126	− 0,031.875	+ 0,006[illegible]
0,75	− 0,837.891	+ 0,162.109	+ 0,111.329	− 0,029.307	+ 0,005[illegible]
0,80	− 0,877.143	+ 0,122.857	+ 0,097.715	− 0,025.714	+ 0,005[illegible]
0,85	− 0,913.181	+ 0,086.819	+ 0,080.029	− 0,021.060	+ 0,004[illegible]
0,90	− 0,945.804	+ 0,054.196	+ 0,058.018	− 0,015.268	+ 0,003[illegible]
0,95	− 0,974.810	+ 0,025.190	+ 0,031.426	− 0,008.270	+ 0,001[illegible]
1,00	− 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	− 0,000.000	+ 0,000[illegible]

…ANTS.



…ce de l'effort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$

MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE				
Section dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE		Section dans la 3e travée	Section dans la 4e travée
	$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$		
Y_1^2	y_2^2	Y_2^2	y_3^2	y_4^2
0,000.000	0.000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,000.000
— 0,021.248	— 0,036.386	+ 0,963.614	+ 0,009.543	— 0,001.909
— 0.038.732	— 0,077.339	+ 0,922.661	+ 0,020.089	— 0,004.018
— 0,052.708	— 0,122.337	+ 0,877.663	+ 0,031.306	— 0,006.261
— 0,063.429	— 0.170.857	+ 0,829.143	+ 0,042.857	— 0,008.571
— 0.071.150	— 0,222.377	+ 0,777.623	+ 0,054.408	— 0,010.882
— 0,076.125	— 0,276.375	+ 0,723.625	+ 0,065.625	— 0,013.125
— 0,078.609	— 0,332.328	+ 0667.6720	+ 0,076.172	— 0,015.234
— **0.079.018**	»	»	»	»
— 0.078.857	— 0,389.714	+ 0,610.286	+ 0,085.714	— 0,017.143
— 0.077.123	— 0,448.011	+ 0,551.989	+ 0,093.917	— 0,018.783
— 0.073.661	— 0,506.696	+ 0,493.304	+ 0,100.446	— 0,020.089
— 0.068.726	— 0,565.248	+ 0,434.752	+ 0,104.966	— 0,020.992
»	»	»	»	»
— 0.062.571	— 0,623.143	+ 0,376.857	+ 0,107.143	— 0,021.428
»	»	»	+ **0.107.289**	— **0.021.458**
— 0.055.453	— 0,679.859	+ 0,320.141	+ 0,106.640	— 0,021.328
— 0.047.625	— 0,734.875	+ 0,265.125	+ 0,103.125	— 0.020.667
— 0.039.342	— 0,787.667	+ 0,212.333	+ 0,096.261	— 0,019.252
— 0,030.857	— 0,837.714	+ 0,162.286	+ 0,085.714	— 0,017.643
— 0,022.426	— 0,884.493	+ 0,115.507	+ 0.071.149	— 0,014.229
— 0.014.304	— 0,927.482	+ 0,072.518	+ 0.052.232	— 0,010.447
— 0,006.743	— 0,966.158	+ 0,033.842	+ 0,028.627	— 0,005.725
— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0.000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 1re TRAVÉE.

4 Travées. $\alpha = 1,00$

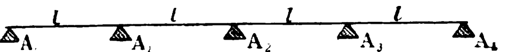
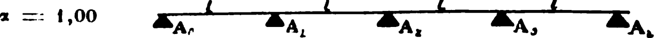


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE. — SECTION DANS LA 1re TRAVÉE.									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_1}{l}$										
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+0,043.664	+0,037.328	+ 0,030.992	+ 0,024.656	+ 0,018.320	+ 0,011.985	+ 0,005.649	— 0,000.687	— 0,007.023	—0,013.359
0,10	+**0,087.348**	+0,074.697	+ 0,062.045	+ 0,049.393	+ 0,036.741	+ 0,024.089	+ 0,011.438	— 0,001.214	— 0,013.866	—0,026.517
0,15	+0,081.072	+0,112.145	+ 0,093.217	+ 0,074.290	+ 0,055.362	+ 0,036.435	+ 0,017.507	— 0,001.410	— 0,020.347	—0,039.275
0,20	+0,074.857	+**0,149.714**	+ 0,124.571	+ 0,099.428	+ 0,074.285	+ 0,049.143	+ 0,024.000	— 0,001.143	— 0,026.286	—0,051.429
0,25	+0,068.722	+0,137.444	+ 0,156.166	+ 0,124.889	+ 0,093.610	+ 0,062.333	+ 0,031.055	— 0,000.223	— 0,031.501	—0,062.779
0,30	+0,062.687	+0,125.375	+ **0,188.062**	+ 0,150.750	+ 0,113.437	+ 0,076.125	+ 0,038.812	+ 0,001.500	— 0,035.812	—0,073.125
0,35	+0,056.773	+0,113.547	+ 0,170.320	+ 0,177.094	+ 0,133.867	+ 0,090.640	+ 0,047.414	+ 0,004.187	— 0,039.039	—0,082.266
0,40	+0,051.000	+0,102.000	+ 0,153.000	+ **0,204.000**	+ 0,155.000	+ 0,106.000	+ 0,057.000	+ 0,008.000	— 0,041.000	—0,090.000
0,45	+0,045.387	+0,090.774	+ 0,136.162	+ 0,181.549	+ 0,176.936	+ 0,122.323	+ 0,067.710	+ 0,013.098	— 0,041.515	—0,096.128
0,50	+0,039.955	+0,079.911	+ 0,119.866	+ 0,159.821	+ **0,199.776**	+ 0,139.732	+ 0,079.687	+ 0,019.642	— 0,040.402	—0,100.447
0,55	+0,034.724	+0,069.449	+ 0,104.173	+ 0,138.897	+ 0,173.621	+ 0,158.346	+ 0,093.070	+ 0,027.794	— 0,037.481	—0,102.757
0,577.350	»	»	»	»	»	»	»	»	»	—**0.103.097**
0,60	+0,029.714	+0,059.429	+ 0,089.143	+ 0,118.857	+ 0,148.571	+ **0,178.286**	+ 0,108.000	+ 0,037.714	— 0,032.571	—0,102.857
0,65	+0,024.945	+0,049.891	+ 0,074.836	+ 0,099.781	+ 0,124.726	+ 0,149.672	+ 0,124.617	+ 0,049.562	— 0,025.492	—0,100.547
0,70	+0,020.437	+0,040.875	+ 0,061.312	+ 0,081.750	+ 0,102.187	+ 0,122.625	+ **0,143.062**	+ 0,063.500	— 0,016.062	—0,095.625
0,75	+0,016.211	+0,032.422	+ 0,048.633	+ 0,064.844	+ 0,081.055	+ 0,097.265	+ 0,113.476	+ 0,079.687	— 0,004.102	—0,087.891
0,80	+0,012.286	+0,024.571	+ 0,036.857	+ 0,049.143	+ 0,061.428	+ 0,073.714	+ 0,086.000	+ **0,098.286**	+ 0,010.571	—0,077.143
0,85	+0,008.682	+0,017.364	+ 0,026.046	+ 0,034.728	+ 0,043.409	+ 0,052.091	+ 0,060.773	+ 0,069.455	+ 0,028.137	0,063.181
0,90	+0,005.420	+0,010.839	+ 0,016.259	+ 0,021.678	+ 0,027.098	+ 0,032.518	+ 0,037.937	+ 0,043.357	+ **0,048.776**	—0,045.804
0,95	+0,002.519	+0,005.038	+ 0,007.557	+ 0,010.076	+ 0,012.595	+ 0,015.114	+ 0,017.633	+ 0,020.152	+ 0,022.671	—0,023.810
1,00	+0,000.000	+0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

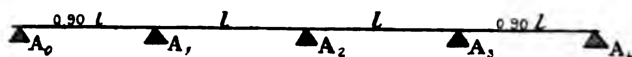


4 Travées. $\alpha = 1,00$ A_0 l A_1 l A_2 l A_3 l A_4

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE. — SECTION DANS LA 2e TRAVÉE.										
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_2}{l}$											
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,021.248	+0,025.113	+0,021.475	+0,017.836	+0,014.198	+0,010.559	+0,006.920	+0,003.282	−0,000.357	−0,003.995	−0,007.634
0,10	−0,038.732	**+0,053.534**	+0,045.800	+0,038.066	+0,030.332	+0,022.599	+0,014.865	+0,007.131	−0,000.603	−0,008.337	−0,016.071
0,15	−0,052.708	+0,035.058	+0,072.824	+0,060.590	+0,048.356	+0,036.122	+0,023.889	+0,011.655	−0,000.579	−0,012.813	−0,025.045
0,20	−0,063.429	+0,019.485	**+0,102.400**	+0,085.314	+0,068.228	+0,051.143	+0,034.057	+0,016.971	−0,000.115	−0,017.200	−0,034.286
0,25	−0,071.150	+0,006.612	+0,084.375	+0,112.137	+0,089.899	+0,067.662	+0,045.424	+0,023.186	+0,000.948	−0,021.289	−0,043.527
0,30	−0,076.125	−0,003.763	+0,068.600	**+0,140.963**	+0,113.325	+0,085.687	+0,058.050	+0,030.413	+0,002.775	−0,024.863	−0,052.501
0,35	−0,078.609	−0,011.842	+0,054.925	+0,121.693	+0,138.460	+0,105.227	+0,071.994	+0,038.761	+0,005.529	−0,027.704	−0,060.937
0,380.661	**−0,079.010**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,078.857	−0,017.828	+0,043.200	+0,104.228	**+0,165.257**	+0,126.286	+0,087.315	+0,048.343	+0,009.372	−0,029.600	−0,068.571
0,45	−0,077.123	−0,021.924	+0,033.275	+0,088.474	+0,143.673	+0,148.872	+0,104.070	+0,059.269	+0,014.468	−0,030.333	−0,075.134
0,50	−0,073.661	−0,024.331	+0,025.000	+0,074.330	+0,123.661	**+0,172.991**	+0,122.322	+0,071.652	+0,020.982	−0,029.687	−0,080.357
0,55	−0,068.726	−0,025.251	+0,018.224	+0,061.700	+0,105.175	+0,148.650	+0,142.125	+0,085.600	+0,029.076	−0,027.449	−0,083.974
0,60	−0,062.571	−0,024.885	+0,012.800	+0,050.486	+0,088.172	+0,125.858	**+0,163.543**	+0,101.229	+0,038.915	−0,023.400	−0,085.714
0,616.333	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,085.832**
0,65	−0,055.453	−0,023.439	+0,008.575	+0,040.589	+0,072.603	+0,104.618	+0,136.632	+0,118.646	+0,050.660	−0,017.326	−0,085.312
0,70	−0,047.625	−0,021.113	+0,005.400	+0,031.913	+0,058.425	+0,084.938	+0,111.450	**+0,137.963**	+0,064.475	−0,009.013	−0,082.500
0,75	−0,039.342	−0,018.109	+0,003.125	+0,024.358	+0,045.591	+0,066.825	+0,088.058	+0,109.291	+0,080.524	+0,001.758	−0,077.009
0,80	−0,030.857	−0,014.628	+0,001.600	+0,017.829	+0,034.057	+0,050.286	+0,066.515	+0,082.743	**+0,098.972**	+0,015.200	−0,068.571
0,85	−0,022.426	−0,010.875	+0,000.675	+0,012.226	+0,023.777	+0,035.328	+0,046.878	+0,058.429	+0,069.980	+0,031.530	−0,056.919
0,90	−0,014.304	−0,007.052	+0,000.200	+0,007.451	+0,014.703	+0,021.955	+0,029.207	+0,036.459	+0,043.710	**+0,050.962**	−0,041.786
0,95	−0,006.743	−0,003.359	+0,000.025	+0,003.410	+0,006.794	+0,010.178	+0,013.562	+0,016.946	+0,020.331	+0,023.715	−0,022.901
1,00	−0,000.000	−0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	0,000.000

2e Cas.



4 Travées. $\alpha = 0,90$

Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,717.254 l	0,182.746 l
F_1^2	0,208.333 l	0,791.667 l
F_2^2	0,788.889 l	0,211.111 l
F_1^3	0,211.111 l	0,788.889 l
F_2^3	0,791.667 l	0,208.333 l
F_1^4	0,182.746 l	0,717.254 l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,519.615 l	0,480.385 l
I_1^2	0,380.490 l	0,619.510 l
I_2^2	0,618.703 l	0,381.297 l
I_1^3	0,381.297 l	0,618.703 l
I_2^3	0,619.510 l	0,380.490 l
I_1^4	0,480.385 l	0,519.615 l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = +\ 0.392.673\ p_1 l - p_1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = +\ 0,065.401\ p_1 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = -\ 0,017.440\ p_1 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^1 = +\ 0,004.037\ p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = -\ 0,057.592\ p^2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = +\ 0,498.803\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = +\ 0,066.985\ p_2 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^2 = -\ 0,015.505\ p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^3 = + 0{,}015.505\, p_3 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^3 = - 0{,}066.985\, p_3 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^3 = + 0{,}501.197\, p_3 l - p_3 X_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^3 = + 0{,}057.592\, p_3 l.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^4 = - 0{,}004.037\, p_4 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^4 = + 0{,}017.440\, p_4 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^4 = - 0{,}065.401\, p_4 l.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^4 = + 0{,}507.327\, p_4 l - p_4 X_1.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = + 0{,}346.549\, pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = + 0{,}514.659\, pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = + 0{,}485.341\, pl - pX_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4 = + 0{,}553.451\, pl - pX_4.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = + 0{,}392.673\, p_1 l X_1 - 0{,}50\, p_1 X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = - 0{,}051.594\, p_1 l^2 + 0{,}065.401\, p_1 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = + 0{,}013.807\, p_1 l^2 - 0{,}017.440\, p_1 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^1 = - 0{,}003.633\, p_1 l^2 + 0{,}004.037\, p_1 l X_1.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = - 0{,}057.592\, p_2 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = - 0{,}051.833 p_2 l^2 + 0{,}498.803 p_2 l X_2 - 0{,}50 p_2 X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = - 0{,}053.030\, p_2 l^2 + 0{,}066.985\, p_2 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^2 = + 0{,}013.955\, p_2 l^2 - 0{,}015.505\, p_2 l X_4.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = + 0{,}015.505\ p_3 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = + 0{,}013.955\ p_3 l^2 - 0{,}066.985\ p_3 l X_2$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^3 = - 0{,}053.030\ p_3 l^2 + 0{,}501.197\ p_3 l X_3 - 0{,}50\ p_3 X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^3 = - 0{,}051.833\ p_3 l^2 + 0{,}057.592\ p_3 l X_4.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^4 = - 0{,}004.037\ p_4 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^4 = - 0{,}003.633\ p_4 l^2 + 0{,}017.440\ p_4 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^4 = + 0{,}013.807\ p_4 l^2 - 0{,}065{,}401\ p^4 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^4 = - 0{,}051.594\ p_4 l^2 + 0{,}507.327\ p_4 l X_4 - 0{,}50\ p_4 X_4^2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = + 0{,}346.549\ p l X_1 - 0{,}50\ p X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2 = - 0{,}093.105\ p l^2 + 0{,}514.659\ p l X_2 - 0{,}50\ p X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = - 0{,}078.446\ p l^2 + 0{,}485.341\ p l X_3 - 0{,}50\ p X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4 = - 0{,}093.105\ p l^2 + 0{,}553.451\ p l X_4 - 0{,}50\ p X_4^2.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	$\mu p_1^1 = - 0{,}051.594\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^1 = + 0{,}013.807\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^1 = - 0{,}003.633\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
2e travée seule chargée	$\mu p_1^2 = - 0{,}051.833\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^2 = - 0{,}053.030\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^2 = + 0{,}013.955\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
3e travée seule chargée	$\mu p_1^3 = + 0{,}013.955\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^3 = - 0{,}053.030\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^3 = - 0{,}051.833\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
4e travée seule chargée	$\mu p_1^4 = - 0{,}003.633\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^4 = + 0{,}013.807\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^4 = - 0{,}051.594\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 3.

Toutes les travées également chargées

$\mu p_1 = -\ 0{,}093.105\ pl^2.$ Moment sur pile n° 1.

$\mu p_2 = -\ 0{,}078.446\ pl^2.$ Moment sur pile n° 2.

$\mu p_3 = -\ 0{,}093.105\ pl^2.$ Moment sur pile n° 3.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1{}^1 = -\ 1{,}394.210\ \frac{x_1}{l} + 0{,}349.505\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1{}^1 = 1 - 1{,}394.210\ \frac{x_1}{l} + 0{,}349.505\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2{}^1 = +\ 0{,}322.972\ \frac{x_1}{l} - 0{,}398.731\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3{}^1 = -\ 0{,}086.126\ \frac{x_1}{l} + 0{,}106.328\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4{}^1 = +\ 0{,}019.937\ \frac{x_1}{l} - 0{,}024.613\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1{}^2 = -\ 0{,}544.922\frac{x_2}{l} + 0{,}943\ 644\frac{x_2{}^2}{l^2} - 0{,}398.722\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2{}^2 = -\ 0{,}645.934\frac{x_2}{l} - 1{,}076.552\frac{x_2{}^2}{l^2} + 0{,}722.486\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2{}^2 = 1 - 0{,}645.934\frac{x_2}{l} - 1{,}076.552\frac{x_2{}^2}{l^2} + 0{,}722.486\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3{}^2 = +\ 0{,}172.249\frac{x_2}{l} + 0{,}287.080\frac{x_2{}^2}{l^2} - 0{,}459.329\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4{}^2 = -\ 0{,}039.872\frac{x_2}{l} - 0{,}066.454\frac{x_2{}^2}{l^2} + 0{,}106.326\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_1}{}^1 + y_2^1 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^1}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_2}{}^1 + y_3^1 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4^1}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_3}{}^1 + y_4^1 \frac{X_4}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l}\, M_{P_1}{}^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l}\, M_{P_1}{}^2 + Y_2^2 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^2}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_2}{}^2 + y_3^2 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4^2}{l} = \frac{1}{l}\, m_{P_3}{}^2 + y_4^2 \frac{X_4}{l}.$$

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{m_{P_1}^1}{l} = -0{,}254.789\,\frac{x_1}{l} + 0{,}314.555\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^1}{l} = +0{,}068.183\,\frac{x_1}{l} - 0{,}084.176\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}^1}{l} = -0{,}017.943\,\frac{x_1}{l} + 0{,}022.152\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}^2}{l} = -0{,}490.430\,\frac{x_2}{l} + 0{,}849.280\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}358.850\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^2}{l} = -0{,}136.364\,\frac{x_2}{l} - 0{,}227.272\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}363.636\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}^2}{l} = +0{,}035.885\,\frac{x_2}{l} + 0{,}059.809\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}095.693\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

EF

4 Travées.

Table faisant connaître les ordonnées des lig

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE				
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		Section dans la 2e travée	Section dans la 3e travée	Sect dans 4e trav
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$			
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	y_3^1	y_4^1
0,00	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	+ 0,0
0,05	— 0,069.667	+ 0,930.333	+ 0,016.099	— 0,004.293	+ 0,0
0,10	— 0,139.072	+ 0,860.928	+ 0,031.898	— 0,008.506	+ 0,0
0,15	— 0,207.952	+ 0,792.048	+ 0,047.100	— 0,012.560	+ 0,0
0,20	— 0,276.046	+ 0,723.954	+ 0,061.405	— 0,016.375	+ 0,0
0,25	— 0,343.092	+ 0,656.908	+ 0,074.513	— 0,019.870	+ 0,0
0,30	— 0,408.826	+ 0,591.174	+ 0,086.126	— 0,022.967	+ 0,0
0,35	— 0,472.989	+ 0,527.011	+ 0,095.945	— 0,025.585	+ 0,0
0,380.490	»	»	»	»	
0,40	— 0,535.316	0,464.684	+ 0,103.670	— 0,027.646	+ 0,0
0,45	— 0,595.545	+ 0,404.455	+ 0,109.003	— 0,029.068	+ 0,0
»	»	»	»	»	»
0,50	— 0,653.417	+ 0,346.583	+ 0,111.645	— 0,029.772	+ 0,0
0,519.615	»	»	**+ 0,111.880**	**— 0,029.835**	**+ 0,0**
0,55	— 0,708.667	+ 0,291.333	+ 0,111.296	— 0,029.679	+ 0,0
0,60	— 0,761.033	+ 0,238.967	+ 0,107.657	— 0,028.709	+ 0,0
0,618.703	»	»	»	»	
0,65	— 0,810.254	0,189.746	+ 0,100.430	— 0,026.782	+ 0,0
0,70	— 0,856.066	+ 0,143.934	+ 0,089.316	— 0,023.818	+ 0,0
0,75	— 0,898.210	+ 0,101.790	+ 0,074.014	— 0,019.737	+ 0,0
0,80	— 0,936.422	+ 0,063.578	+ 0,054.227	— 0,014.461	+ 0,0
0,85	— 0,970.439	+ 0,029.561	+ 0,029.656	— 0,006.908	+ 0,0
0,90	— 1,000.000	0,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	+ 0,0
0,95					
1,00					

NCHANTS.



e de l'effort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$

05.

	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE				
	Section dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE		Section dans la 3e travée	Section dans la 4e travée
		$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$		
	Y_1^2	y_2^2	Y_2^2	y_3^2	y_4^2
	— 0,000.000	0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	0,000.000
	— 0,024.937	— 0,034.898	+ 0,965.102	+ 0,009.273	— 0,002.147
	— 0,045.454	— 0,074.637	+ 0,925.363	+ 0,019.636	— 0,004.545
	— 0,061.852	— 0,118.674	+ 0,881.326	+ 0,030.746	— 0,007.117
	— 0,074.428	— 0,166.469	+ 0,833.531	+ 0,042.258	— 0,009.782
	— 0,083.483	— 0,217.479	+ 0,782.521	+ 0,053.828	— 0,012.460
	— 0,089.314	— 0,271.163	+ 0,728.837	+ 0,065.110	— 0,015.072
	— 0,092.221	— 0,326.978	+ 0,673.622	+ 0,075.761	— 0,017.537
0.490	— **0.092.687**	»	»	»	»
	— 0,092.504	— 0,384.383	+ 0,615.617	+ 0,085.435	— 0,019.777
	— 0,090.461	— 0,442.836	+ 0,557.164	+ 0,093.789	— 0,021.710
	»	»	»	»	»
	— 0,086.390	— 0,501.794	+0,498.206	+ 0,100.478	— 0,023.259
9.615	»	»	»	»	»
	— 0,080.592	— 0,560.717	+ 0,439.283	+ 0,105.158	— 0,024.342
	— 0,073.365	— 0,619.062	+ 0,380.938	+ 0,107.483	— 0,024.880
8.703	»	»	»	+ **0,107.678**	— **0.024.926**
	— 0,065.009	— 0,676.288	+ 0,323.712	+ 0,107.110	— 0,024.794
	— 0,055.822	— 0,731.852	+ 0,268.148	+ 0,103.694	— 0,024.007
	— 0,046.103	— 0,785.213	+ 0,214.787	+ 0,096.890	— 0,022.428
	— 0,036.151	— 0,835.828	+ 0,164.172	+ 0,086.354	— 0,019.989
	— 0,026.266	— 0,883.156	+ 0,116.844	+ 0,071.742	— 0,016.607
	— 0,016.747	— 0,926.655	+ 0,073.345	+ 0,052.708	— 0,012.196
	— 0,007.891	— 0,965.784	+ 0,034.216	+ 0,028.909	— 0,006.692
	— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 1re TRAVÉE.

4 Travées. $\alpha = 0,90$



Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1^1}{l}$, $\frac{M_1^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE. — MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.								
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
$\frac{x_1}{l}$									
0,00	0,000.000	0,000,000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,043.033	+ 0,036.067	+ 0,029.100	+ 0,022.133	+ 0,015.166	+ 0,008.200	+ 0,001.233	— 0,005.734	— 0,012.700
0,10	+ **0,086.093**	+ 0,072.186	+ 0,058.278	+ 0,044.371	+ 0,030.464	+ 0,016.557	+ 0,002.650	— 0,011.258	— 0,025.165
0,15	+ 0,079.205	+ 0,108.410	+ 0,087.614	+ 0,066.819	+ 0,046.024	+ 0,025.228	+ 0,004.434	— 0,016.362	— 0,037.157
0,20	+ 0,072.395	+ **0,144.790**	+ 0,117.186	+ 0,089.582	+ 0,061.977	+ 0,034.372	+ 0,006.768	— 0,020.837	— 0,048.441
0,25	+ 0,065.691	+ 0,131.382	+ 0,147.072	+ 0,112.766	+ 0,078.454	+ 0,044.145	+ 0,009.836	— 0,024.474	— 0,058.783
0,30	+ 0,059.117	+ 0,118.235	+ **0,177.352**	+ 0,136.470	+ 0,095.552	+ 0,054.704	+ 0,013.822	— 0,027.061	— 0,067.943
0,35	+ 0,052.701	+ 0,105.402	+ 0,158.103	+ 0,160.804	+ 0,113.506	+ 0,066.206	+ 0,018.908	— 0,028.391	— 0,075.690
0,40	+ 0,046.468	+ 0,092.937	+ 0,139.405	+ **0,185.874**	+ 0,132.342	+ 0,078.810	+ 0,025.279	— 0,028.253	— 0,081.784
0,45	+ 0,040.446	+ 0,080.891	+ 0,121.337	+ 0,161.782	+ 0,152.228	+ 0,092.673	+ 0,033.119	— 0,026.436	— 0,085.991
0,50	+ 0,034.658	+ 0,069.317	+ 0,103.975	+ 0,138.633	+ **0,173.292**	+ 0,107.950	+ 0,042.608	— 0,022.734	— 0,088.075
0,519.615	»	»	»	»	»	»	»	»	— **0,088.261**
0,55	+ 0,029.133	+ 0,058.267	+ 0,087.400	+ 0,116.533	+ 0,145.667	+ 0,124.800	+ 0,053.933	— 0,016.934	— 0,087.800
0,60	+ 0,023.807	+ 0,047.793	+ 0,071.690	+ 0,095.587	+ 0,119.484	+ **0,143.380**	+ 0,067.279	— 0,008.826	— 0,084.930
0,65	+ 0,018.975	+ 0,037.949	+ 0,056.924	+ 0,075.898	+ 0,094.873	+ 0,113.848	+ 0,082.822	+ 0,001.706	— 0,079.220
0,70	+ 0,014.393	+ 0,028.787	+ 0,043.180	+ 0,057.574	+ 0,071.967	+ 0,086.360	+ **0,100.784**	+ 0,015.147	— 0,070.459
0,75	+ 0,010.179	+ 0,020.358	+ 0,030.537	+ 0,040.716	+ 0,050.895	+ 0,061.074	+ [illegible]	+ [illegible]	— [illegible]
0,80	+ 0,006.858	+ 0,012.716	+ [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

4 Travées.

$\alpha = 0,00$

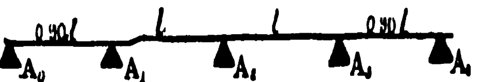


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE. — SECTION DANS LA 2e TRAVÉE.										
$\frac{x_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	0,000.000	0,000.000	—0,000.000
0,05	—0,022.443	+0,024.667	+0,020.577	+0,017.087	+0,013.598	+0,010.108	+0,006.618	+0,003.128	—0,000.362	—0,003.851	—0,007.341
0,10	—0,040.909	**+0,051.628**	+0,044.164	+0,036.700	+0,029.237	+0,021.773	+0,014.309	+0,006.846	—0,000.618	—0,008.081	—0,015.545
0,15	—0,055.667	+0,032.466	+0,070.598	+0,058.731	+0,046.864	+0,034.996	+0,023.129	+0,011.261	—0,000.606	—0,012.474	—0,024.341
0,20	—0,066.985	+0,016.368	**+0,099.721**	+0,083.074	+0,066.427	+0,049.780	+0,033.133	+0,016.487	—0,000.161	—0,016.808	—0,033.455
0,25	—0,075.135	+0,003.117	+0,081.369	+0,109.621	+0,087.873	+0,066.125	+0,044.377	+0,022.629	+0,000.882	—0,020.866	—0,042.614
0,30	—0,080.383	—0,007.499	+0,065.385	**+0,138.269**	+0,111.152	+0,084.036	+0,056.920	+0,029.803	+0,002.687	—0,024.430	—0,051.546
0,35	—0,082.999	—0,015.697	+0,051.606	+0,118.908	+0,136.210	+0,103.512	+0,070.814	+0,038.117	+0,005.418	—0,027.279	—0,059.977
0,380.490	**—0,083.418**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	—0,083.254	—0,021.692	+0,039.870	+0,101.432	**+0,162.993**	+0,124.555	+0,086.117	+0,047.678	+0,009.240	—0,029.198	—0,067.636
0,45	—0,081.415	—0,025.698	+0,030.018	+0,085.734	+0,141.451	+0,147.167	+0,102.884	+0,058.600	+0,014.317	—0,029.967	—0,074.250
0,50	—0,077.751	—0,027.930	+0,021.890	+0,071.711	+0,121.531	**+0,171.352**	+0,121.173	+0,070.993	+0,020.814	—0,029.366	—0,079.545
0,55	—0,072.533	—0,028.605	+0,015.324	+0,059.252	+0,103.180	+0,147.109	+0,141.037	+0,084.965	+0,028.894	—0,027.178	—0,083.250
0,60	—0,066.029	—0,027.935	+0,010.159	+0,048.253	+0,086.346	+0,124.441	**+0,162.534**	+0,100.628	+0,038.722	—0,023.184	—0,085.090
0,618.703	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**—0,085.245**
0,65	—0,058.508	—0,026.137	+0,006.234	+0,038.606	+0,070.977	+0,103.348	+0,135.719	+0,118.090	+0,050.462	—0,017.167	—0,084.796
0,70	—0,050.240	—0,023.425	+0,003.390	+0,030.205	+0,057.019	+0,083.834	+0,110.649	**+0,137.464**	+0,064.279	—0,008.906	—0,082.091
0,75	—0,041.493	—0,020.014	+0,001.465	+0,022.943	+0,044.422	+0,065.901	+0,087.380	+0,108.858	+0,080.337	+0,001.816	—0,076.706
0,80	—0,032.536	—0,016.119	+0,000.299	+0,016.716	+0,033.133	+0,049.550	+0,065.967	+0,082.385	**+0,098.802**	+0,015.219	—0,068.364
0,85	—0,023.639	—0,011.955	—0,000.271	+0,011.414	+0,023.098	+0,034.783	+0,046.467	+0,058.151	+0,069.836	+0,031.520	—0,056.796
0,90	—0,015.072	—0,007.738	—0,000.403	+0,006.931	+0,014.266	+0,021.600	+0,028.935	+0,036.269	+0,043.604	**+0,050.938**	—0,041.727
0,95	—0,007.102	—0,003.680	—0,000.276	+0,003.146	+0,006.567	+0,009.989	+0,013.411	+0,016.832	+0,020.254	+0,023.675	—0,022.886
1,00	—0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	0,000.000	+0,000.000	0,000.000	0,000.000	—0,000.000

3e Cas.



4 Travées. $\alpha = 0,80$

Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à droite
F_2^1	0,645.086l	0,154.914l
F_1^2	0,217.391l	0,782.609l
F_2^2	0,788.235l	0,211.765l
F_1^3	0,211.765l	0,788.235l
F_2^3	0,782.609l	0,217.391l
F_1^4	0,154.914l	0,645.086l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à gauche	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN à droite
I_2^1	0,461.880l	0,338.120l
I_1^2	0,380.300l	0,419.700l
I_2^2	0,621.372l	0,378.628l
I_1^3	0,378.628l	0,621.372l
I_2^3	0,419.700l	0,380.300l
I_1^4	0,338.120l	0,461.880l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = 0,351.971\ p^1 l - p^1 X_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = 0,048.746\ p_1 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = -\ 0,013.190\ p_1 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^1 = 0,003,584\ p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = -\ 0,068.603\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = 0,502.463\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = 0,066.980\ p_2 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^2 = -\ 0,018.201\ p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^3 = 0{,}018.201\ p_3 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^3 = -\ 0{,}066.980\ p_3 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^3 = 0{,}497.537\ p_3 l - p_3 X_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^3 = 0{,}068.603\ p_3 l.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^4 = -\ 0{,}003.584\ p_4 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^4 = 0{,}013.190\ p_4 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^4 = -\ 0{,}048.746\ p_4 l.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^4 = 0{,}448.029\ p_4 l - p_4 X_4.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = 0{,}297.985\ pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = 0{,}497.419\ pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = 0{,}502.581\ pl - pX_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4 = 0{,}502.015\ pl - pX_4.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = 0{,}351.971\ p_1 l X_1 - 0{,}50\ p_1 X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = -\ 0{,}038.423\ p_1 l^2 + 0{,}048.746\ p_1 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = 0{,}010.323\ p_1 l^2 - 0{,}013.190\ p_1 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^1 = -\ 0{,}002.867\ p_1 l^2 + 0{,}003.584\ p_1 l X_4.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = -\ 0{,}068.603\ p_2 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = -\ 0{,}054.883 p_2 l^2 + 0{,}502.463 p_2 l X_2 - 0{,}50 p_2 X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = -\ 0{,}052.420\ p_2 l^2 + 0{,}066.980\ p_2 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^2 = 0{,}014.561\ p_2 l^2 - 0{,}018.201\ p_2 l X_4.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = 0{,}018.201\ p_3 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = 0{,}014.561\ p_3 l^2 - 0{,}066.980\ p_3 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^3 = -0{,}052.420 p_3 l_2 + 0{,}497.537 p_3 l X_3 - 0{,}50\ p_3 X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^3 = -0{,}054.883\ p_3 l^2 + 0{,}068.603\ p^3 l X_4.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^4 = -0{,}003.584\ p_4 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^4 = -0{,}002.867\ p_4 l^2 + 0{,}013.190\ p_4 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^4 = 0{,}010.323\ p_4 l^2 - 0{,}048.746\ p_4 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^4 = -0{,}038.423\ p_4 l^2 + 0{,}448.029 p_4 l X_4 - 0{,}50 p_4 X_4^2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = 0{,}297.985\ p l X_1 - 0{,}50\ p X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2 = -0{,}081.612\ p l^2 + 0{,}497.419\ p l X_2 - 0{,}50\ p X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = -0{,}084.194\ p l^2 + 0{,}502.581\ p l X_3 - 0{,}50\ p X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4 = -0{,}081.612\ p l^2 + 0{,}502.015\ p l X_4 - 0{,}50\ p X_4^2.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	$\mu_{P_1}^1 = -0{,}038.423\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^1 = 0{,}010.323\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^1 = -0{,}002.867\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
2e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^2 = -0{,}054.883\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^2 = -0{,}052.420\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^2 = 0{,}014.561\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
3e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^3 = 0{,}014.561\ p_3 l^2$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^3 = 0{,}052.420\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^3 = -0{,}054.883\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
4e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^4 = -0{,}002.867\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^4 = 0{,}010.323\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^4 = -0{,}038.423\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 3.

Toutes les travées également chargées
$\mu p_1 = -0,081.612\, pl^2$. Moment sur pile n° 1.
$\mu p_2 = -0,084.194\, pl^2$. Moment sur pile n° 2.
$\mu p_3 = -0,081.612\, pl^2$. Moment sur pile n° 3.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -1,550.181 \frac{x_1}{l} + 0,469.032 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1,550.181 \frac{x_1}{l} + 0,469.032 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = +0,304.661 \frac{x_1}{l} - 0,476.033 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^1 = -0,082.438 \frac{x_1}{l} + 0,128.809 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^1 = 0,022.401 \frac{x_1}{l} - 0,035.002 \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0,649.640 \frac{x_2}{l} + 1,125.670 \frac{x_2^2}{l^2} - 0,476.030 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X^2$.

$$y_2^2 = -0,609.321 \frac{x_2}{l} - 1,142.471 \frac{x_2^2}{l^2} + 0,751.792 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0,609.321 \frac{x_2}{l} - 1,142.471 \frac{x_2^2}{l^2} + 0,751.792 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^2 = 0,164.875 \frac{x_2}{l} + 0,309.139 \frac{x_2^2}{l^2} - 0,474.014 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^2 = -0,044.803 \frac{x_2}{l} - 0,084.005 \frac{x_2^2}{l^2} + 0,128.808 \frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = \frac{1}{l} m_{P_1}^1 + y_2^1 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^1}{l} = \frac{1}{l} m_{P_2}^1 + y_3^1 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4^1}{l} = \frac{1}{l} m_{P_3}^1 + y_4^1 \frac{X_4}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}^2 + Y_2^2 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^2}{l} = \frac{1}{l} m_{P_2}^2 + y_3^2 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4^2}{l} = \frac{1}{l} m_{P_3}^2 + y_4^2 \frac{X_4}{l}.$$

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{m_{P_1}^{1}}{l} = -0,240.145\,\frac{x_1}{l} + 0,375.226\,\frac{x_1^3}{l_3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^{1}}{l} = 0,064.517\,\frac{x_1}{l} - 0,100.807\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}^{1}}{l} = -0,017.921\,\frac{x_1}{l} + 0,028.002\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}^{2}}{l} = -0,519.712\,\frac{x_2}{l} + 0,900.536\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0,380.824\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}^{2}}{l} = -0,129.033\,\frac{x_2}{l} - 0,241.935\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0,370.968\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}^{2}}{l} = -0,035.842\,\frac{x_2}{l} + 0,067.204\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0,103.046\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

---

4 Travées.

Table faisant connaître les ordonnées des li

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE			
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		Section dans la 2e travée	Section dans la 3e travée
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$		
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	y_3^1
0,00	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000
0,05	— 0,077.450	+ 0,922.550	+ 0,015.174	— 0,004.106
0,10	— 0,154.549	+ 0,845.451	+ 0,029.990	— 0,008.115
0,15	— 0,230.944	+ 0,769.056	+ 0,044.093	— 0,011.931
0,20	— 0,306.284	+ 0,693.716	+ 0,057.124	— 0,015.457
0,25	— 0,380.217	+ 0,619.783	+ 0,068.727	— 0,018.597
0,30	— 0,452.391	+ 0,547.609	+ 0,078.546	— 0,021.254
0,35	— 0,522.454	+ 0,477.546	+ 0,086.221	— 0,023.331
0,3803	»	»	»	»
0,40	— 0,590.054	+ 0,409.946	+ 0,091.398	— 0,024.731
0,45	— 0,654.841	+ 0,345.159	+ 0,093.718	— 0,025.359
0,46188	»	»	+ 0.093.811	— 0.025.384
0,50	— 0,716.462	+ 0,283.538	+ 0,092.826	— 0,025.118
»	»	»	»	»
0,55	— 0,774.564	+ 0,225.436	+ 0,088.364	— 0,023.910
0,60	— 0,828.798	+ 0,171.202	+ 0,079.974	— 0,021.640
0,621.372	»	»	»	»
0,65	— 0,878.810	+ 0,121.190	+ 0,067.299	— 0,018.211
0,70	— 0,924.249	+ 0,075.751	+ 0,049.983	— 0,013.525
0,75	— 0,964.762	+ 0,035.238	+ 0,027.669	— 0,007.487
0,80	— 1,000.000	0,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000
0,85				
0,90				
0,95				
1,00				

IANTS.



de l'effort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$

MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE				
Section dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE		Section dans la 3e travée	Section dans la 4e travée
	$x_2 < X_2$	$x_2 > X_2$		
Y_1^2	y_2^2	Y_2^2	y_3^2	y_4^2
— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000
— 0,029.727	— 0,033.228	+ 0,966.772	+ 0,008.957	— 0,002.434
— 0,054.183	— 0,071.605	+ 0,928.395	+ 0,019.105	— 0,005.192
— 0,073.725	— 0,114.567	+ 0,885.434	+ 0,030.085	— 0,008.176
— 0,088.709	— 0,161.549	+ 0,838.451	+ 0,041.548	— 0,011.290
— 0,099.494	— 0,211.988	+ 0,788.012	+ 0,053.133	— 0,014.438
— 0,106.435	— 0,265.320	+ 0,734.680	+ 0,064.487	— 0,017.524
— 0,109.889	— 0,320.981	+ 0,679.019	+ 0,075.252	— 0,020.449
— **0,110.438**	»	»	»	»
— 0,110.215	— 0,378.409	+ 0,621.591	+ 0,085.075	— 0,023.118
— 0,107.768	— 0,437.038	+ 0,562.962	+ 0,093.600	— 0,025.433
»	»	»	»	»
— 0,102.906	— 0,496.304	+ 0,503.696	+ 0,100.471	— 0,027.302
»	»	»	»	»
— 0,095.986	— 0,555.645	+ 0,444.355	+ 0,105.332	— 0,028.623
— 0,087.365	— 0,614.495	+ 0,385.505	+ 0,107.828	— 0,029.301
»	»	»	+ **0,108.086**	— **0,029.371**
— 0,077.400	— 0,671.292	+ 0,327.708	+ 0,107.604	— 0,029.240
— 0,066.448	— 0,728.471	+ 0,271.529	+ 0,104.304	— 0,028.343
— 0,054.866	— 0,782.468	+ 0,217.532	+ 0,097.572	— 0,026.514
— 0.043.011	— 0,833.721	+ 0,166.279	+ 0,087.054	— 0,023.656
— 0,031.239	— 0,881.664	+ 0,118.336	+ 0,072.393	— 0,019.672
— 0,019.909	— 0,925.734	+ 0,074.266	+ 0,053.234	— 0,014.466
— 0,009.377	— 0,965.367	+ 0,034.633	+ 0,029.221	— 0,007.941
— 0,000.000	— 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 1re TRAVÉE.

4 Travées. $\alpha = 0,80$

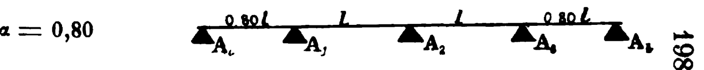
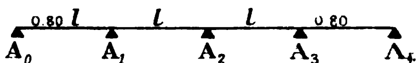


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

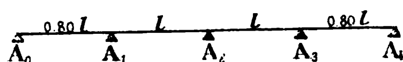
	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE. — SECTION DANS LA 1re TRAVÉE.							
$\frac{X_1}{l}$ / $\frac{x_1}{l}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	**0,000.000**	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,042.255	+ 0,034.510	+ 0,026.765	+ 0,019.020	+ 0,011.275	+ 0,003.530	— 0,004.215	— 0,011.960
0,10	+ **0,084.545**	+ 0,069.090	+ 0,053.635	+ 0,038.180	+ 0,022.725	+ 0,007.270	— 0,008 185	— 0,023.639
0,15	+ 0,076.906	+ 0,103.811	+ 0,080.717	+ 0,057.622	+ 0,034.528	+ 0,011.434	— 0,011.661	— 0,034.755
0,20	+ 0,069.372	+ **0,138.743**	+ 0,108.115	+ 0,077.486	+ 0,046.858	+ 0,016.230	— 0,014.399	— 0,045.027
0,25	+ 0,061.978	+ 0,123.957	+ 0,135.935	+ 0,097.913	+ 0,059.892	+ 0,021.870	— 0,016.152	— 0,054.174
0,30	+ 0,054.761	+ 0,109.523	+ **0,164.283**	+ 0,119.044	+ 0,073.805	+ 0,028.565	— 0,016.674	— 0,061.913
0,35	+ 0,047.755	+ 0,095.509	+ 0,143.264	+ 0,141.018	+ 0,088.773	+ 0,036.538	— 0,015.718	— 0,067.963
0,40	+ 0,040.995	+ 0,081.989	+ 0,122.984	+ **0,163,978**	+ 0,104.973	+ 0,045.968	— 0,013.038	— 0,072.043
0,45	+ 0,034.516	+ 0,069.032	+ 0,103.548	+ 0,138.064	+ 0 122.580	+ 0,057.095	— 0,008.389	— 0,073.873
0,461.880	»	»	»	»	»	»	»	— **0.073.046**
0,50	+ 0.028.354	+ 0.056.707	+ 0,085.062	+ 0,113.415	+ **0,141.760**	+ 0,070.123	— 0,001.523	— 0,073.170
0,55	+ 0,022.544	+ 0,045.087	+ 0,067.631	+ 0,090.175	+ 0,112.718	+ 0,085.262	+ 0,007.805	— 0,069.651
0,60	+ 0,017.120	+ 0,034.240	+ 0,051.360	+ 0,068.481	+ 0,085.601	+ **0,102.721**	+ 0,019.841	— 0,068.038
0,65	+ 0,012.119	+ 0,024.238	+ 0,036.857	+ 0,048.476	+ 0,060.595	+ 0,072.714	+ 0,034.833	— 0,053.048
0,70	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ 0,037.875	+ 0,045.481	+ [illegible]	— 0,039.400

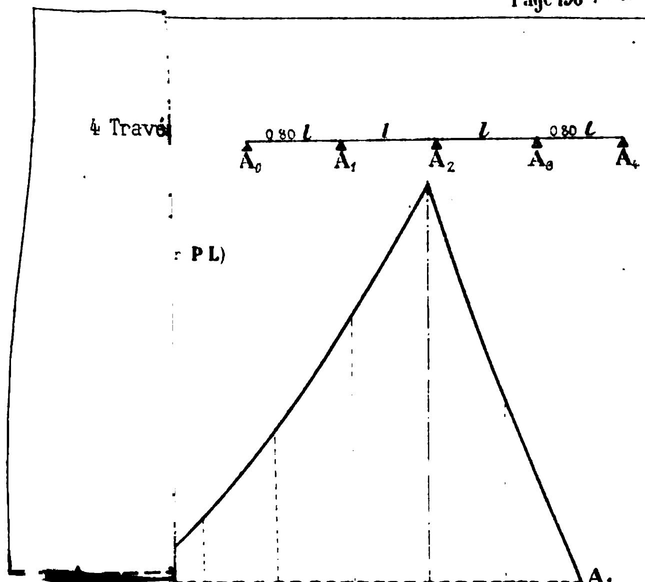
4 Travées



$\frac{x_1}{l}$	0.00	0.05	0.10	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00

4 Travees




4 Travé
0.80 l
l
l
0.80 l
A0
A1
A2
A3
A4
PL)
A1

4 Travées. $\alpha = 0,80$

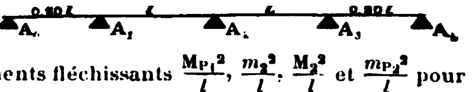


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10

$\frac{X_2}{l}$	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE. — SECTION DANS LA 2e TRAVÉE.										
$\frac{x_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0.60	0,70	0,80	0,90	1,00
0.00	−0,000.000	+0,000.000	+0.000.000	0,000.000	0,000.000	+0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,023.782	+0,022.895	+0,019.572	+0,016.250	+0,612.927	+0,009.604	+0,006.281	+0,002.958	−0,000.364	−0,003.687	−0,007.010
0,10	−0,043.346	**+0,049.494**	+0,042.333	+0,035.173	+0,028.012	+0,020.852	+0,013.691	+0.006.531	−0,000.630	−0,007.791	−0,014.951
0,15	−0,058.980	+0,039.563	+0,068.107	+0,056.650	+0,045.193	+0,033.737	+0,022.280	+0,010.823	−0,000.633	−0,012.090	−0,023.547
0,20	−0,070.967	+0,012.878	**+0,096.723**	+0,080.568	+0,064.413	+0,048.259	+0,032.104	+0,015.949	−0,000.206	−0,016.361	−0,032.516
0,25	−0,079.595	−0,000.793	+0,078.007	+0,106.809	+0,085.610	+0,064.411	+0,043.212	+0,022.013	+0,000.814	−0,020.385	−0,041.584
0,30	−0,085.148	−0,011.680	+0,061.788	**+0,135.256**	+0,108.724	+0,082.192	+0,055.660	+0,029.128	+0,002.596	−0,023.936	−0,050.468
0,35	−0,087.911	−0,020 009	+0,047.891	+0,115.795	+0,134.697	+0,101.599	+0,069.500	+0,037.402	+0,005.304	−0,026.794	−0,058.892
0,380.000	**−0.088.349**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,088.172	−0,026.013	+0,036.146	+0,098.305	**+0,160.464**	+0,122.624	+0,084.783	+0.046.942	+0,009.101	−0,028.740	−0,066.581
0,45	−0,086.214	−0,029.918	+0,026.378	+0,082.675	+0,138.971	+0,145.267	+0,101.563	+0,057.859	+0,014.158	−0,029.548	−0,073.252
0,50	−0,082.325	−0,031.955	+0,018.414	+0,068.784	+0,119.153	**+0,169.523**	+0,119.892	+0,070.262	+0,020.631	−0,028.999	−0,078.630
0,55	−0,076.789	−0,032.354	+0,012.082	+0,056.518	+0,100.953	+0,145.389	+0,139.824	+0,084.260	+0,028.695	−0,026.870	−0,082.434
0,60	−0,069.892	−0,031.342	+0,007.209	+0,045.760	+0,084.310	+0,122.861	**+0,161.411**	+0,099.962	+0,038.512	−0,022.938	−0,084.387
0,621.372	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,084.589**
0.65	−0,061.920	−0,029.149	+0,003.622	+0,036.392	+0,069.163	+0,101.934	+0,134.705	+0,117.476	+0,050.246	−0,016.983	−0,084.212
0.70	−0,053.158	−0,026.005	+0,001.148	+0,028.301	+0,055.454	+0,082.607	+0,109.759	**+0,136.912**	+0,064.065	−0,008.782	−0,081.629
0.75	−0,043.893	−0,022.140	−0,000.387	+0,021.366	+0,043.119	+0,064.873	+0,086.626	+0,108.379	+0,080.132	+0,001.885	−0,076.361
0,80	−0,034.409	−0,017.781	−0,001.153	+0,015.475	+0,032.103	+0,048.731	+0,065.358	+0,081.986	**+0,098.614**	+0,015.242	−0,068.130
0,85	−0,024.991	−0,013.157	−0,001.324	+0,010 510	+0,022.343	+0,034.177	+0,046.011	+0,057.844	+0,069.078	+0,031.511	−0,056.655
0,90	−0,015.927	−0,008.500	−0,001.074	+0,006.353	+0,013.779	+0,021.206	+0,028.633	+0,036.059	+0,043.486	**+0,050.912**	−0,041.661
0.95	0,007.502	−0,004.039	−0,000.575	+0,002.888	+0,006.351	+0,009.815	+0,013.278	+0,016.741	+0,020.204	+0,023.668	−0,022.869
1,00	-0,000.000	−0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.600	0,000.000

4e Cas.



4 Travées. $\alpha = 0,70$

Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,572.068*l*	0,127.932*l*
F_1^2	0,227.273*l*	0,772.727*l*
F_2^2	0,787.500*l*	0,212.500*l*
F_1^3	0,212.500*l*	0,787.500*l*
F_2^3	0,772.727*l*	0,227.273*l*
F_1^4	0,127.932*l*	0,572.068*l*

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCE A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,404.145*l*	0,295.855*l*
I_1^2	0,380.082*l*	0,619.918*l*
I_2^2	0,624.404*l*	0,375.596*l*
I_1^3	0,375 596*l*	0,624.404*l*
I_2^3	0,619.918*l*	0,380.082*l*
I_1^4	0,295.855*l*	0,404.145*l*

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^1 = + 0{,}310.864\, p_1 l - p_1 X_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^1 = + 0{,}034.787\, p_1 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^1 = - 0{,}009.566\, p_1 l.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^1 = + 0{,}003.106\, p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^2 = - 0{,}083.309\, p_2 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^2 = + 0{,}506.592\, p_2 l - p_2 X_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^2 = + 0{,}066.937\, p_2 l.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^2 = - 0{,}021.732\, p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = + 0{,}021.732\ p_3l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = - 0{,}066.937\ p_3l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = + 0{,}493.408\ p_3l - p_3X_3.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^3 = + 0{,}083.309\ p_3l.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^4 = - 0{,}003.106\ p_4l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^4 = + 0{,}009.566\ p_4l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^4 = - 0{,}034.787\ p_4l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^4 = + 0{,}389.136\ p_4l - p_4X_4.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.
$T_1 = + 0{,}246.181\ pl - pX_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2 = + 0{,}484.008\ pl - pX_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3 = + 0{,}515.992\ pl - pX_3.$
Section dans la 4e travée.
$T_4 = + 0{,}453.819\ pl - pX_4.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$\mu_1^1 = + 0{,}310.864\ p_1lX_1 - 0{,}50\ p_1X_1^2.$
Section dans la 2e travée.
$\mu_2^1 = - 0{,}027.395\ p_1l^2 + 0{,}034.787\ p_1lX_2.$
Section dans la 3e travée.
$\mu_3^1 = + 0{,}007.302\ p_1l^2 - 0{,}009.566\ p_1lX_3.$
Section dans la 4e travée.
$\mu_4^1 = - 0{,}002.174\ p_1l^2 + 0{,}003.106\ p_1lX_4.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$\mu_1^2 = - 0{,}083.309\ p_2lX_1.$
Section dans la 2e travée.
$\mu_2^2 = - 0{,}058.316\ p_2l^2 + 0{,}506.592\ p_2lX_2 - 0{,}50\ p_2X_2^2.$
Section dans la 3e travée.
$\mu_3^2 = - 0{,}051.724\ p_2l^2 + 0{,}066.937\ p_2lX_3.$
Section dans la 4e travée.
$\mu_4^2 = + 0{,}015.213\ p_2l^2 - 0{,}021.732\ p_2lX_4.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = + 0{,}021.732\, p_3 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = + 0{,}015.213\, p_3 l^2 - 0{,}066.937\, p_3 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^3 = - 0{,}051.724\, p_3 l^2 + 0{,}493.408\, p_3 l X_3 - 0{,}50\, p_3 X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^3 = - 0{,}058.316\, p_3 l^2 + 0{,}083.309\, p_3 l X_4.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^4 = - 0{,}003.106\, p_4 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^4 = - 0{,}002.174\, p_4 l^2 + 0{,}009.566\, p_4 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^4 = + 0{,}007.392\, p_4 l^2 - 0{,}034.787\, p_4 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^4 = - 0{,}027.395\, p_4 l^2 + 0{,}389.136\, p_4 l X_4 - 0{,}50\, p_4 X_4^2.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = + 0{,}246.181\, p l X_1 - 0{,}50\, p X_1^2.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2 = - 0{,}072.672\, p l^2 + 0{,}484.008\, p l X_2 - 0{,}50\, p X_2^2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = - 0{,}088.664\, p l^2 + 0{,}515.992\, p l X_3 - 0{,}50\, p X_3^2.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4 = - 0{,}072.672\, p l_2 + 0{,}453.819\, p l X_4 - 0{,}50\, p X_4^2.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	$\mu_{P_1}^1 = - 0{,}027.395\, p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^1 = + 0{,}007.392\, p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3 1} = - 0{,}002.174\, p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
2e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^2 = - 0{,}058.316\, p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^2 = - 0{,}051.724\, p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^2 = + 0{,}015.213\, p_2{}^2 l.$	Moment sur pile n° 3.
3e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^3 = + 0{,}015.213\, p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^3 = - 0{,}051.724\, p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^3 = - 0{,}058.316\, p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
4e travée seule chargée	$\mu_{P_1}^4 = - 0{,}002.174\, p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}^1 = + 0{,}007.392\, p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}^4 = - 0{,}027.395\, p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 3.

Toutes les travées également chargées

$\mu_{P_1} = -\,0{,}072.672\ pl^2$. Moment sur pile n° 1

$\mu_{P_2} = -\,0{,}088.664\ pl^2$. Moment sur pile n° 2.

$\mu_{P_3} = -\,0{,}072.672\ pl^2$. Moment sur pile n° 3.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -\,1{,}748.044\,\frac{x_1}{l} + 0{,}651.986\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1{,}748.044\,\frac{x_1}{l} + 0{,}651.986\,\frac{x_1^3}{l^3}$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = 0{,}283.976\,\frac{x_1}{l} - 0{,}579.542\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^1 = -\,0{,}078.093\,\frac{x_1}{l} + 0{,}159.374\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^1 = 0{,}025.355\,\frac{x_1}{l} - 0{,}051.745\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -\,0{,}789.627\,\frac{x_2}{l} + 1{,}369.170\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}579.543\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -\,0{,}567.950\,\frac{x_2}{l} - 1{,}217.040\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}784.990\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}567.950\,\frac{x_2}{l} - 1{,}217.040\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}784.990\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^2 = +\,0{,}156.186\,\frac{x_2}{l} + 0{,}334.686\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}490.872\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^2 = -\,0{,}050.710\,\frac{x_2}{l} - 0{,}108.664\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}159.374\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1{}^1}{l} = y_1{}^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1{}^1}{l} = Y_1{}^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2{}^1}{l} = \frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 + y_2{}^1 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3{}^1}{l} = \frac{1}{l} m_{P_2}{}^1 + y_3{}^1 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4{}^1}{l} = \frac{1}{l} m_{P_3}{}^1 + y_4{}^1 \frac{X_4}{l}.$$

Mobile sur a 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1{}^2}{l} = Y_1{}^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2{}^2}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}{}^2 + y_2{}^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2{}^2}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}{}^2 + Y^2{}_2 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3{}^2}{l} = \frac{1}{l} m_{P_2}{}^2 + y_3{}^2 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4{}^2}{l} = \frac{1}{l} m_{P_3}{}^2 + y_4{}^2 \frac{X_4}{l}.$$

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{m_{P_1}{}^1}{l} = -0,223.631\,\frac{x_1}{l} + 0,456.390\,\frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}{}^1}{l} = +0,060.344\,\frac{x_1}{l} - 0,123.153\,\frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}{}^1}{l} = -0,017.749\,\frac{x_1}{l} + 0,036.222\,\frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}{}^2}{l} = -0,552.739\,\frac{x_2}{l} + 0,958.419\,\frac{x_2{}^2}{l^2} - 0,405.680\,\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}{}^2}{l} = -0,120.689\,\frac{x_2}{l} - 0,258.621\,\frac{x_2{}^2}{l^2} + 0,379.310\,\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}{}^2}{l} = 0,035.497\,\frac{x_2}{l} + 0,076.065\,\frac{x_2{}^2}{l^2} - 0,111.562\,\frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

EFFO[illegible]

4 Travées.

Table faisant connaitre les ordonnées des lig[illegible]

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE — SECTION DANS LA 1re TRAVÉE — $x_1 < X_1$ — $y_1{}^1$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE — $x_1 > X_1$ — $Y_1{}^1$	Section dans la 2e travée — $y_2{}^1$	Section dans la 3e travée — $y_3{}^1$	Section dans la 4e travée — $y_4{}^1$
0,00	— 0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.[illegible]
0,05	— 0,087.321	+ 0,912.679	+ 0,014.126	— 0,003.885	+ 0,001.[illegible]
0,10	— 0,174.152	+ 0,825.848	+ 0,027.818	— 0,007.650	+ 0,002.[illegible]
0,15	— 0,260.006	+ 0,739.994	+ 0,040.640	— 0,011.176	+ 0,003.[illegible]
0,20	— 0,344.393	+ 0,655.607	+ 0,052.159	— 0,014.344	+ 0,004.[illegible]
0,25	— 0,426.824	+ 0,573.176	+ 0,061.939	— 0,017.033	+ 0,005.[illegible]
0,30	— 0,506.810	+ 0,493.190	+ 0,069.545	— 0,019.125	+ 0,006.[illegible]
0,35	— 0,583.862	+ 0,416.138	+ 0,074.544	— 0,020.499	+ 0,006.[illegible]
0,380.082	»	»	»	»	»
0,40	— 0,657.491	+ 0,342.509	+ 0,076.500	— 0,021.037	+ 0,006.[illegible]
0,404.145	»	»	**+ 0,076.512**	**— 0,021.039**	**+ 0,0064[illegible]**
0,45	— 0,727.208	+ 0,272.792	+ 0,074.978	— 0,020.619	+ 0,006.[illegible]
0,50	— 0,792.525	+ 0,207.475	+ 0,069.545	— 0,019.125	+ 0,006.[illegible]
0,55	— 0,852.950	+ 0.147.050	+ 0,059.766	— 0,016.435	+ 0,005.[illegible]
»	»	»	»	»	»
0,60	— 0,907.998	+ 0.092.002	+ 0,045.205	— 0,012.431	+ 0,004.[illegible]
0,624.404	»	»	»	»	»
0,65	— 0,957.177	+ 0,042.823	+ 0,025.428	— 0,006.992	+ 0,002.[illegible]
0,70	— 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.[illegible]
0,75					
0,80					
0,85					
0,90					
0,95					
1,00					

NCHANTS.



ce de l'effort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$

05.

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE				
	Section dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE $x_2 < X_2$	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE $x_2 > X_2$	Section dans la 3e travée	Section dans la 4e travée
	$Y_1{}^2$	$y_2{}^2$	$Y_2{}^2$	$y_3{}^2$	$y_4{}^2$
	0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,000.000
	— 0,036.131	— 0,031.342	+ 0,968.658	+ 0,008.585	— 0,002.717
	— 0,065.851	— 0,068.181	+ 0,931.819	+ 0,018.475	— 0,059.983
	— 0,089.594	— 0,109.927	+ 0,890.073	+ 0,029.302	— 0,009.513
	— 0,107.795	— 0,155.992	+ 0,844.008	+ 0,040.698	— 0,013.213
	— 0,120.887	— 0,205.787	+ 0,794.213	+ 0,052.295	— 0,016.979
	— 0,129.311	— 0,258.723	+ 0,741.277	+ 0,063.724	— 0,020.689
	— 0,133.494	— 0,314.213	+ 0,685.787	+ 0,074.618	— 0,024.226
080.082	**— 0.134.151**	»	»	»	»
	— 0,133.874	— 0,371.667	+ 0,628.333	+ 0,084.608	— 0,027.470
404.145	»	»	»	»	»
	— 0,130.886	— 0,430.496	+ 0,569.504	+ 0,093.327	— 0,030.301
	— 0,124.964	— 0,490.111	+ 0,509.889	+ 0,100.406	— 0,032.599
	— 0,116.542	— 0,549.924	+ 0,450.076	+ 0,105.476	— 0,034.245
	»	»	»	»	»
	— 0,106.057	— 0,609.347	+ 0,390.653	+ 0,108.170	— 0,035.120
4.404	»	»	»	**+ 0,108.511**	**— 0.035.231**
	— 0,093.940	— 0,667.789	+ 0,332.211	+ 0,108.120	— 0,034.785
	— 0,080.629	— 0,724.663	+ 0,275.337	+ 0,104.957	— 0,034.077
	— 0,066.557	— 0,779.381	+ 0,220.619	+ 0,098.314	— 0,031.920
	— 0,052.159	— 0,831.351	+ 0,168.649	+ 0,087.821	— 0,028.513
	— 0,037.869	— 0,879.987	+ 0,120.013	+ 0,073.112	— 0,023.738
	— 0,024.124	— 0,924.700	+ 0,075.300	+ 0,053.817	— 0,017.473
	— 0,011.355	— 0,964.900	+ 0,035.100	+ 0,029.569	— 0,009.600
	— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	— 0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS. — 1re TRAVÉE.

4 Travées. $\alpha = 0,70$

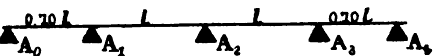


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{mp_1{}^1}{l}$

pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$ / $\frac{x_1}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE. — SECTION DANS LA 1re TRAVÉE.						
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,041.268	+ 0,032.536	+ 0,023.804	+ 0,015.072	+ 0,006.340	— 0,002.393	— 0,011.125
0,10	+ **0,082.585**	+ 0,065.170	+ 0,047.754	+ 0,030.340	+ 0,012.924	— 0,004.491	— 0,021.906
0,15	+ 0,074.000	+ 0,097.999	+ 0,071.998	+ 0,045.998	+ 0,019.997	— 0,006.004	— 0,032.004
0,20	+ 0,065.561	+ **0,131.121**	+ 0,096.682	+ 0,062.243	+ 0,027.803	— 0,006.636	— 0,041.075
0,25	+ 0,057.318	+ 0,114.635	+ 0,121.953	+ 0,079.270	+ 0,036.588	— 0,006.094	— 0,048.777
0,30	+ 0,049.319	+ 0,098.638	+ **0,147.957**	+ 0,097.276	+ 0,046.595	— 0,004.086	— 0,054.767
0,35	+ 0,041.614	+ 0,083.228	+ 0,124.841	+ 0,116.455	+ 0,058.069	— 0,000.317	— 0,058.703
0,40	+ 0,034.251	+ 0.068.502	+ 0,102.753	+ **0,137.804**	+ 0,071.254	+ 0,005.505	— 0.060.244
0,404.145	»	»	»	»	»	»	— **0,060.253**
0,45	+ 0,027.279	+ 0,054.558	+ 0,081.838	+ 0,109.117	+ **0,103.738**	+ 0,013.675	— 0,059.046
0,50	+ 0,020.748	+ 0,041.495	+ 0,062.243	+ 0,082.990	+ 0,103.738	+ 0,024.485	— 0,054.767
0,55	+ 0,014.705	+ 0,029.410	+ 0,044.115	+ 0,058.820	+ 0,073.525	+ 0,038.230	— 0,047.065
0,60	+ 0,009.200	+ 0,018.400	+ 0,027.601	+ 0,036.801	+ 0,046.001	+ **0,055.201**	— 0,035.599
0,65	+ 0,004.282	+ 0,008.565	+ 0,012.847	+ 0,017.129	+ 0,021.411	+ 0,025.604	— 0,020.024

4 Travées.

$a = 0,70$

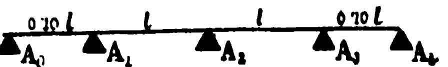


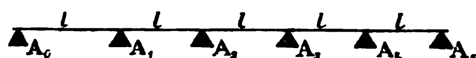
Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{Mp_1^2}{l}$, $\frac{m_2^2}{l}$, $\frac{M_2^2}{l}$ et $\frac{mp_2^2}{l}$

pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

	MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE. — SECTION DANS LA 2e TRAVÉE.										
$\frac{X_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_2}{l}$											
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,025.292	+0,021.574	+0,018.440	+0,015.306	+0,012.171	+0,009.037	+0,005.903	+0,002.769	−0,000.365	−0,003.499	−0,006.634
0,10	−0,046.095	**+0,047.086**	+0,040.268	+0,033.450	+0,026.632	+0,019.814	+0,012.996	+0,006.178	−0,000.640	−0,007.459	−0,014.276
0,15	−0,062.716	+0,027.291	+0,065.299	+0,054.306	+0,043.313	+0,032.321	+0,021.328	+0,010.335	−0,000.657	−0,011.650	−0,022.643
0,20	−0,075.456	+0,008.944	**+0,093.345**	+0,077.746	+0,062.147	+0,046.548	+0,030.949	+0,015.349	−0,000.250	−0,015 849	−0,031.449
0,25	−0,084.621	−0,005.200	+0,074.222	+0,103.643	+0,083.064	+0,062.425	+0,041.907	+0,021.328	+0,000.749	−0,019.830	−0,040.408
0,30	−0,090.518	−0,016.390	+0,057.737	**+0,131.865**	+0,105.993	+0,080.121	+0,054.248	+0,028.375	+0,002.503	−0,023.369	−0,049.242
0,35	−0,093.446	−0,024.867	+0,043.712	+0,112.290	+0,130.869	+0,099.440	+0,068.027	+0,036.606	+0,005.184	−0,026.237	−0,057.659
0,380.082	**−0,093.906**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,093.711	−0,030.878	+0,031.955	+0,094.788	**+0,157.621**	+0,120.455	+0,083.288	+0,046.121	+0,008.954	−0,028.213	−0,065.380
0,45	−0,091.620	−0,034.670	+0,022.281	+0,079.230	+0,136.181	+0,143.132	+0,100.082	+0,057.033	+0,013.983	−0,029.067	−0,072.116
0,50	−0,087.474	−0,036.485	+0,014.504	+0,065.492	+0,116.481	**+0,167.470**	+0,118.459	+0,069.448	+0,020.436	−0,028.575	−0,077.586
0,55	−0,081.579	−0,036.572	+0,008.436	+0,053.443	+0,098.451	+0,143.459	+0,138.466	+0,083.474	+0,028.481	−0,026.511	−0,081.503
0,60	−0,074.240	−0,035.175	+0,003.891	+0,042.956	+0,082.022	+0,121.087	**+0,160.152**	+0,099.218	+0,038.283	−0,022.651	−0,083.586
0,624.404	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,083.850**
0,65	−0,065.758	−0,032.537	+0,000.684	+0,033.905	+0,067.126	+0,100.347	+0,133.569	+0,116.790	+0,050.011	−0,016.768	−0,083.547
0,70	−0,056.440	−0,028.906	−0,001.373	+0,026.161	+0,053.695	+0,081.228	+0,108.762	**+0,136.295**	+0,063.829	−0,008.638	−0,081.104
0,75	−0,046.590	−0,024.528	−0,002.466	+0,019.596	+0,041.658	+0,063.720	+0,085.781	+0,107.843	+0,079.905	+0,001.967	−0,075.971
0,80	−0,036.511	−0,019.646	−0,002.781	+0,014.084	+0,030.949	+0,047.814	+0,064.678	+0,081.543	**+0,098.408**	+0,015.273	−0,067.862
0,85	−0,026.508	−0,014.507	−0,002.506	+0,009.496	+0,021.497	+0,033.498	+0,045.499	+0,057.501	+0,069.502	+0,031.503	−0,056.495
0,90	−0,016.887	−0,009.357	−0,001.827	+0,005.703	+0,013.233	+0,020.763	+0,028.293	+0,035.823	+0,043.353	**+0,050.883**	−0,041.587
0,95	−0,007.949	−0,004.439	−0,000.929	+0,002.582	+0,006.092	+0,009.602	+0,013.112	+0,016.622	+0,020.132	+0,023.642	−0,022.849
1,00	−0,000.000	0,000.000	−0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	−0,000.000

§ 5. — Poutres reposant sur six appuis.

1er Cas.



5 Travées. $\alpha = 1,00$

Foyers.

DÉSIGNATION des foyers	DISTANCES A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
F_2^1	0,788.679l	0,211.321l
F_1^2	0,200.000l	0,800.000l
F_2^2	0,788.732l	0,211.268l
F_1^3	0,210.526l	0,789.474l
F_2^3	0,789.474l	0,210.526l
F_1^4	0,211.268l	0,788.732l
E_2^4	0,800.000l	0,200.000l
F_1^5	0,211.321l	0,788.679l

Points d'influence.

DÉSIGNATION des points d'influence	DISTANCES A L'APPUI LE PLUS VOISIN	
	à gauche	à droite
I_2^1	0,577.350l	0,422.650l
I_1^2	0,380.444l	0,619.556l
I_2^2	0,616.334l	0,383.667l
I_1^3	0,380.660l	0,619.340l
I_2^3	0,619.340l	0,380.660l
I_1^4	0,383.667l	0,616.334l
I_2^4	0,619.556l	0,380.444l
I_1^5	0,422.650l	0,577.350l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^1 = + 0,433.014\, p_1 l - p_1 X_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^1 = + 0,084.928\, p_1 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^1 = - 0,022.727\, p_1 l.$

Section dans la 4e travée.

T_4^1 [illegible] 0,005.9[illegible]1 $p_1 l$.

Section dans la 5e travée.

$T_5^1 = - 0,001.196\, p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = - 0{,}049.043\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = + 0{,}495.214\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = + 0{,}068.183\ p_2 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^2 = - 0{,}017.943\ p_2 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^2 = + 0{,}003.589\ p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = + 0{,}013.158\ p_3 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = - 0{,}065.790\ p_3 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = + 0{,}500.000\ p_3 l - p_3 X_3.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^3 = + 0{,}065.790\ p_3 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^3 = - 0{,}013.158\ p_3 l.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^4 = - 0{,}003.589\ p_4 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^4 = + 0{,}017.943\ p_4 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^4 = - 0{,}068.183\ p_4 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^4 = + 0{,}504.786\ p_4 l - p_4 X_4.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^4 = + 0{,}049.043\ p_4 l.$

5e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^5 = + 0{,}001.196\ p_5 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^5 = - 0{,}005.981\ p_5 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^5 = + 0{,}022.727\ p_5 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^5 = - 0{,}084.928\ p_5 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^5 = + 0{,}566.986\ p_5 l - p_5 X_5.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$T_1 = + 0{,}394.736\, pl - pX_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$T_2 = + 0{,}526.314\, pl - pX_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$T_3 = + 0{,}500.000\, pl - pX_3.$$

Section dans la 4e travée.

$$T_4 = + 0{,}473.686\, pl - pX_4.$$

Section dans la 5e travée.

$$T_5 = + 0{,}605.264\, pl - pX_5.$$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1{}^1 = 0{,}433.014\, p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2{}^1 = - 0{,}066.986\, p_1 l^2 + 0{,}084.928\, p_1 l X_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3{}^1 = + 0{,}017.943\, p_1 l^2 - 0{,}022.727\, p_1 l X_3.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4{}^1 = - 0{,}004{,}785\, p_1 l^2 + 0{,}005.981\, p_1 l X_4.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5{}^1 = + 0{,}005.196\, p_1 l^2 - 0{,}001.196\, p_1 l X_5.$$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1{}^2 = - 0{,}049.043\, p_2 l X_2.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2{}^2 = - 0{,}049.043\, p_2 l^2 + 0{,}495.214\, p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3{}^2 = - 0{,}053.829\, p_2 l^2 + 0{,}068.183\, p_2 l X_3.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4{}^2 = + 0{,}014.354\, p_2 l^2 - 0{,}017.943\, p_2 l X_4.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5{}^2 = - 0{,}003.589\, p_2 l^2 + 0{,}003.589\, p_2 l X_5.$$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = + 0{,}013.158\ p_3 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = + 0{,}013.158\ p_3 l^2 - 0{,}065.790\ p_3 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^3 = - 0{,}052.632\ p_3 l^2 + 0{,}500.000\ p_3 l X_3 - p_3 \dfrac{X_3^2}{2}.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^3 = - 0{,}052.632\ p_3 l^2 + 0{,}065.790\ p_3 l X_4.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^3 = + 0.013.158\ p_3 l^2 - 0{,}013.158\ p_3 l X_5.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^4 = - 0{,}003.589\ p_4 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^4 = - 0{,}003.589\ p_4 l^2 + 0{,}017.943\ p_4 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^4 = + 0{,}014.354\ p_4 l^2 - 0{,}068.183\ p_4 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^4 = - 0{,}053.829\ p_4 l^2 + 0{,}504.786\ p_4 l X_4 - p_4 \dfrac{X_4^2}{2}.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^4 = - 0{,}049.043\ p_4 l^2 + 0{,}049.043\ p_4 l X_5.$

5e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^5 = + 0{,}001.196\ p_5 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^5 = + 0{,}001.196\ p_5 l^2 - 0{,}005.981\ p_5 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^5 = - 0{,}004.785\ p_5 l^2 + 0{,}022.727\ p_5 l X_3$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^5 = + 0{,}017.943\ p_5 l^2 - 0{,}084.928\ p_5 l X_4.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^5 = - 0{,}066.986\ p_5 l^2 + 0{,}566.986\ p_5 l X_5 - p_5 \dfrac{X_5^2}{2}.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = + 0{,}394.736\ plX_1 - p\frac{X_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = - 0{,}105.264\ pl^2 + 0{,}526.314\ plX_2 - p\frac{X_2^2}{2}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3 = - 0{,}078.949\ pl^2 + 0{,}500.000\ plX_3 - p\frac{X_3^2}{2}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4 = - 0{,}078.949\ pl^2 + 0{,}473.686\ plX_4 - p\frac{X_4^2}{2}.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5 = - 0{,}105.264\ pl^2 + 0{,}605.264\ plX_5 - p\frac{X_5^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^1 = - 0{,}066.986\ p_1l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^1 = + 0{,}017.943\ p_1l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}{}^1 = - 0{,}004.785\ p_1l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu_{P_4}{}^1 = + 0{,}001.196\ p_1l^2.$	Moment sur pile n° 4.
2e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^2 = - 0{,}049.043\ p_2l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^2 = - 0{,}053.829\ p_2l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}{}^2 = + 0{,}014.354\ p_2l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu_{P_4}{}^2 = - 0{,}003.589\ p_2l^2.$	Moment sur pile n° 4.
3e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^3 = + 0{,}013{,}158\ p_3l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^3 = - 0{,}052.632\ p_3l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}{}^3 = - 0{,}052.632\ p_3l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu_{P_4}{}^3 = + 0{,}013.158\ p_3l^2.$	Moment sur pile n° 4.
4e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^4 = - 0{,}003.589\ p_4l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^4 = + 0{,}014.354\ p_4l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}{}^4 = - 0{,}053.829\ p_4l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu_{P_4}{}^4 = - 0{,}049.043\ p_4l^2.$	Moment sur pile n° 4.
5e travée seule chargée	$\mu_{P_1}{}^5 = + 0{,}001.196\ p_5l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2}{}^5 = - 0{,}004.785\ p_5l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3}{}^5 = + 0{,}017.943\ p_5l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu_{P_4}{}^5 = - 0{,}066.986\ p_5l^2.$	Moment sur pile n° 4.
Toutes les travées également chargées	$\mu_{P_1} = - 0{,}105.264\ pl^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2} = - 0{,}078.949\ pl^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3} = - 0{,}078.949\ pl^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu_{P_4} = - 0{,}105.264\ pl^2.$	Moment sur pile n° 4.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y^1_1 = -\,1{,}267.942.4\,\frac{x_1}{l} + 0{,}267.942.4\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1{,}267.942.4\,\frac{x_1}{l} + 0{,}267.942.4\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_1^2 = +\,0{,}339.713\,\frac{x_1}{l} - 0{,}339.713\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0{,}464.114.7\frac{x_2}{l} + 0{,}803.827.7\frac{x_2^2}{l^2} - 0.339.713\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -0{,}679.425\frac{x_2}{l} - 1{,}019.138.7\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}698.564.5\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}679.425.8\frac{x_2}{l} - 1{,}019.138.7\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}698.564.5\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_2^3 = +0{,}181.818\frac{x_2}{l} + 0{,}272.727.2\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}454.545.2\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 3e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^3 = +\,0{,}124.402\frac{x_3}{l} - 0{,}215.311\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}090.909\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$Y_2^3 = -0{,}622.009.5\frac{x_3}{l} + 1{,}076.555\frac{x_3^2}{l^2} - 0{,}454.545.5\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 < X_3$.

$$y_3^3 = -0{,}636.363.4\frac{x_3}{l} - 1{,}090.909.2\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}727.272.6\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 > X_3$.

$$Y_3^3 = 1 - 0{,}636.363.4\frac{x_3}{l} - 1{,}090.909.2\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}727.272.6\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^3 = +0{,}167.463.8\frac{x_3}{l} + 0{,}287.081.5\frac{x_3^2}{l^2} - 0{,}454.545.5\frac{x_3^3}{l_3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1 \frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = \frac{1}{l} m_{P_1}{}^1 + y_2^1 \frac{X_2}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}{}^2 + y_2^2 \frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}{}^2 + Y_2^2 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^2}{l} = \frac{1}{l} m_{P_2}{}^2 + y_3^2 \frac{X_3}{l}.$$

Mobile sur la 3e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^3}{l} = Y_2^3 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{M_2^3}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}{}^3 + Y_2^3 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 < X_3$.

$$\frac{m_3^3}{l} = \frac{1}{l} M_{P_2}{}^3 + y_3^3 \frac{X_3}{l} + \frac{x_3}{l}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 > X_3$.

$$\frac{M_3^3}{l} = \frac{1}{l} M_{P_2}{}^3 + Y_3^3 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m_4^3}{l} = \frac{1}{l} m_{P_3}{}^3 + y_4^3 \frac{X_4}{l}.$$

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{m_{p_1}{}^1}{l} = -0{,}267.942.4\,\frac{x_1}{l} + 0{,}267.942.4\,\frac{x_1^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{p_2}{}^1}{l} = +0{,}071.770.4\,\frac{x_1}{l} - 0{,}071.770.4\,\frac{x_1^3}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{p_1}{}^2}{l} = -0{,}464.115\,\frac{x_2}{l} + 0{,}803.828\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}339.713\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{p_2}{}^2}{l} = -0{,}143.540.5\,\frac{x_2}{l} - 0{,}215.311\,\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}358.851.5\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{p_3}{}^2}{l} = +0{,}038.277.5\,\frac{x_2}{l} + 0{,}057.416.2\,\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}095.693.7\,\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 3e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{p_1}{}^3}{l} = 0{,}124.402\,\frac{x_3}{l} - 0{,}215.311\,\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}090.909\,\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{M_{p_2}{}^3}{l} = 0{,}497.607.6\,\frac{x_3}{l} + 0{,}861.244\,\frac{x_3^2}{l^2} - 363.636.4\,\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{p_3}{}^3}{l} = 0{,}133.971\,\frac{x_3}{l} - 0{,}229.665\,\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}363.636\,\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 4.

$$\frac{m_{p_4}{}^3}{l} = 0{,}033.493\,\frac{x_3}{l} + 0{,}057.416\,\frac{x_3^2}{l^2} - 0{,}090.909\,\frac{x_3^3}{l^3}.$$

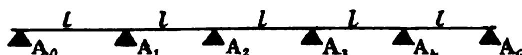
EFF…

5 Travées.

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'inf…

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE			MOBILE SUR LA 2e T…		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e T…	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$			$x_2 < X_2$	$x_2 >$ …
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	Y_1^2	y_2^2	Y_2 …
0,00	0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	0,000.000	0,000.000	+ [illegible]
0,05	— 0,063.364	+ 0,936.636	+ 0,016.943	— 0,021.239	— 0,036.432	+ [illegible]
0,10	— 0,126.526	+ 0,873.474	+ 0.033.632	— 0,038.713	— 0,077.435	+ [illegible]
0,15	— 0,189.287	+ 0,810.713	+ 0,049.810	— 0,052.678	— 0,122.487	+ [illegible]
0,20	— 0,251.445	+ 0,748.555	+ 0,065.225	— 0,063.388	— 0,171.062	+ [illegible]
0,25	— 0,312.799	+ 0,687.201	+ 0,079.620	— 0,071.097	— 0,222.638	+ [illegible]
0,30	— 0,373.148	+ 0,626.852	+ 0,092.742	— 0,076.062	— 0,276.689	+ [illegible]
0,35	— 0,432.292	+ 0,567.708	+ 0,104.334	— 0,078.536	— 0,332.693	+ [illegible]
0,380.4	»	»	»	— **0,078.932**	»	»
0,380.7	»	»	»	»	»	»
0,40	— 0,490.029	+ 0,509.971	+ 0,114.144	— 0,078.775	— 0,390.125	+ [illegible]
0,45	— 0,546.158	+ 0,453.842	+ 0,121.915	— 0,077.033	— 0,448.461	+ [illegible]
0,50	— 0,600.478	+ 0,399.522	+ 0,127.392	— 0,073.564	— 0,507.177	+ [illegible]
0,55	— 0,652.789	+ 0,347.211	+ 0,130.322	— 0,068.625	— 0,565.750	+ [illegible]
0,577.35	— 0,680.481	»	+ **0,130.756**	»	»	»
0,60	— 0,702.890	+ 0,297.110	+ 0,130.449	— 0,062.469	— 0,623.656	+ [illegible]
0,616.3	»	»	»	— 0,060.237	— 0,642.339	+ [illegible]
0,619.3	»	»	»	»	»	»
0,65	— 0,750.579	+ 0,249.421	+ 0,127.520	— 0,055.351	— 0,680.370	+ [illegible]
0,70	— 0,795.655	+ 0,204.345	+ 0,121.277	— 0,047.526	— 0,735.369	+ [illegible]
0,75	— 0,837.919	+ 0,162.081	+ 0.111.468	— 0,039.249	— 0,788.128	+ [illegible]
0,80	— 0,877.167	+ 0,122.833	+ 0,097.837	— 0,030.775	— 0,838.124	+ [illegible]
0,85	— 0,913.201	+ 0,086.799	+ 0,080.129	— 0,022.358	— 0,884.834	+ [illegible]
0,90	— 0,945.818	+ 0,054.182	+ 0,058.090	— 0,014.254	— 0,927.732	+ [illegible]
0,95	— 0,974.818	+ 0,025.182	+ 0,031.465	— 0,006.716	— 0,966.296	+ [illegible]
1,00	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 1,000.000	+ [illegible]

ANT.



t tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

MOBILE SUR LA 3e TRAVÉE				
SECTION dans la 1re travée	SECTION dans la 2e travée	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE $x_3 < X_3$	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE $x_3 > X_3$	SECTION dans la 4e travée
Y_1^3	Y_2^3	y_3^3	Y_3^3	y_4^3
+ 0,000.000	— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000
+ 0,005.693	— 0,028.466	— 0,034.455	+ 0,965.545	+ 0,009.034
+ 0,010.378	— 0,051.890	— 0,073.818	+ 0,926.182	+ 0,019.163
+ 0,014.123	— 0,070.613	— 0,117.545	+ 0,882.455	+ 0,030.045
+ 0,016.935	— 0,084.976	— 0,165.091	+ 0,834.909	+ 0,041.340
+ 0,019.064	— 0,095.320	— 0,215.909	+ 0,784.091	+ 0,052.706
+ 0,020.397	— 0,101.986	— 0,269.454	+ 0,730.546	+ 0,063.804
+ 0,021.063	— 0,105.314	— 0,325.182	+ 0,674.818	+ 0,074.291
»	»	»	»	»
+ 0,021.170	**— 0,105.858**	»	»	»
+ 0,021.129	— 0,105.646	— 0,382.545	+ 0,617.455	+ 0,083.828
+ 0,020.664	— 0,103.322	— 0,441.000	+ 0,559.000	+ 0,092.072
+ 0,019.737	— 0,098.684	— 0,500.000	+ 0,500.000	+ 0,098.684
+ 0,018.414	— 0,092.072	— 0,559.000	+ 0,441.000	+ 0,103.322
»	»	»	»	»
+ 0,016.766	— 0,083.828	— 0,617.455	+ 0,382.545	+ 0,105.646
»	»	»	»	»
»	»	»	»	**+ 0,105.858**
+ 0,014.858	— 0,074.291	— 0,674.818	+ 0,325.182	+ 0,105.314
+ 0,012.761	— 0,063.804	— 0,730.546	+ 0,269.454	+ 0,101.986
+ 0,010.541	— 0,052.706	— 0,784.091	+ 0,215.909	+ 0,095.320
+ 0,008.268	— 0,041.340	— 0,834.909	+ 0,165.091	+ 0,084.976
+ 0,006.009	— 0,030.045	— 0,882.455	+ 0,117.545	+ 0,070.613
+ 0,003.833	— 0,019.163	— 0,926.182	+ 0,073.818	+ 0,051.890
+ 0,001.807	— 0,009.034	— 0,965.545	+ 0,034.455	+ 0,028.466
+ 0,000.000	— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS.

5 Travées. $\alpha = 1,00$

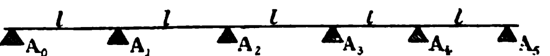


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.									
$\frac{x_1}{l}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	0,043.664	0,037.327	0,030.991	0,024.654	0,018.318	0,011.982	0,005.645	− 0,000.691	− 0,007.028	− 0,013.364
0,10	**0,087.347**	0,074.695	0,062.042	0,049.390	0,036.737	0,024.084	0,011.432	− 0,001.221	− 0,013.873	− 0,026.526
0,15	0,081.071	0,112.143	0,093.214	0,074.285	0,055.357	0,036.428	0,017.499	− 0,001.430	− 0,020.358	− 0,039.287
0,20	0,074.856	**0,149.711**	0,124.567	0,099.422	0,074.278	0,049.133	0,023.989	− 0,001.156	− 0,026.301	− 0,051.445
0,25	0,068.720	0,137.440	0,156.160	0,124.880	0,093.601	0,062.321	0,031.041	− 0,000.239	− 0,031.519	− 0,062.799
0,30	0,062.685	0,125.370	**0,188.056**	0,150.741	0,113.426	0,076.111	0,038.796	+ 0,001.482	− 0,035.833	− 0,073.148
0,35	0,056.771	0,113.552	0,170.322	0,177.083	0,133.854	0,090.625	0,047.396	+ 0,004.166	− 0,039.063	− 0,082.292
0,40	0,050.997	0,101.994	0,152.991	**0,203.988**	0,154.986	0,105.983	0,056.980	+ 0,007.977	− 0,041.026	− 0,090.029
0,45	0,045.384	0,090.768	0,136.153	0,181.537	0,176.921	0,122.305	0,067.689	+ 0,013.074	− 0,041.542	− 0,096.158
0,50	0,039.952	0,079.904	0,119.857	0,159.809	**0,199.761**	0,139.713	0,079.665	+ 0,019.618	− 0,040.430	− 0,100.478
0,55	0.034.721	0,069.442	0,104.163	0,138.884	0,173.606	0,158.327	0,093.048	+ 0,027.769	− 0,037.510	− 0,102.789
0,57735	»	»	»	»	»	»	»	»	»	− 0,103.131
0,60	0,029.711	0,059.422	0,089.133	0,118.844	0,148.555	**0,178.266**	0,107.977	+ 0,037.688	− 0,032.601	− 0,102.890
0,65	0,024.942	0,049.884	0,074.826	0,099.768	0,124.711	0,149.653	0,124.595	+ 0,049.537	− 0,025.521	− 0,100.579
0,70	0,020.435	0,040.869	0,061.304	0,081.738	0,102.173	0,122.607	**0,143.042**	+ 0,063.476	− 0,016.090	− 0,095.655
0,75	0,016.208	0,032.416	0,048.624	0,064.832	0,081.041	0,097.249	0,113.457	+ 0,079.665	− 0,004.127	− 0,087.919
0,80	0,012.283	0,024.567	0,036.850	0,049.133	0,061.417	0,073.700	0,085.983	+ **0,098.266**	+ 0,010.549	− 0,077.167
0,85	0,008.680	0,017.360	0,026.040	0,034.720	0,043.400	0,052.079	0,060.759	+ 0,069.439	+ 0,028.119	− 0,063.201
0,90	0,005.418	0,010.836	0,016.255	0,021.673	0,027.091	0,032.509	[illegible]	+ 0,043.346	+ **[illegible]**	− 0,045.818
0,95	0,002.518	0,005.036	0,007.555	0,010.073	0,012.591	0,015.109	0,017.627	+ 0,020.146	+ [illegible]	− [illegible]
1,00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

5 Travées. α 1,00

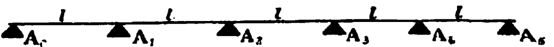


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$ $\frac{m_2{}^2}{l}$. $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$ / $\frac{x_2}{l}$	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE.										
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	—0,021.239	+0,025.118	+0,021.475	+0,017.831	+0,014.188	+0,010.545	+0,006.902	+0,003.259	—0,000.385	—0,004.028	—0,007.671
0,10	—0,038.713	**+0,053.544**	+0,045.800	+0,038.057	+0,030.313	+0,022.570	+0,014.826	+0,007.083	—0,000.661	—0,008.405	—0,016.148
0,15	—0,052.678	+0,035.073	+0,072.825	+0,060.576	+0,048.327	+0,036.079	+0,023.830	+0,011.581	—0,000.668	—0,012.916	—0,025.165
0,20	—0,063.388	+0,019.506	**+0,102.400**	+0,085.293	+0,068.187	+0,051.081	+0,033.975	+0,016.869	—0,000.238	—0,017.344	—0,034.450
0,25	—0,071.097	+0,006.639	+0,084.375	+0,112.112	+0,089.848	+0,067.584	+0,045.320	+0,023.056	+0,000.793	—0,021.471	—0,043.735
0,30	—0,076.062	—0,003.731	+0,068.600	**+0,140.931**	+0,113.262	+0,085.594	+0,057.925	+0,030.256	+0,002.587	—0,025.082	—0,052.751
0,35	—0,078.536	—0,011.805	+0,054.925	+0,121.656	+0,138.387	+0,105.118	+0,071.848	+0,038.579	+0,005.310	—0,027.960	—0,061.229
0,3804	**—0,078.932**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	—0,078.775	—0,017.788	+0,043.200	+0,104.488	**+0,165.175**	+0,126.163	+0,087.150	+0,048.138	+0,009.125	—0,029.888	—0,068.900
0,45	—0,077.033	—0,021.879	+0,033.275	+0,088.429	+0,143.583	+0,148.737	+0,103.890	+0,059.044	+0,014.198	—0,030.648	—0,075.494
0,50	—0,073.564	—0,024.282	+0,025.001	+0,074.283	+0,123.565	**+0,172.848**	+0,122.130	+0,071.412	+0,020.694	—0,030.023	—0,080.741
0,55	—0,068.625	—0,025.200	+0,018.225	+0,061.650	+0,105.075	+0,148.500	+0,141.925	+0,085.350	+0,028.775	—0,027.800	—0,084.375
0,60	—0,062.469	—0,024.835	+0,012.800	+0,050.434	+0,088.069	+0,125.703	**+0,163.337**	+0,100.972	+0,038.606	—0,023.759	—0,086.125
0,6163	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**—0,086.243**
0,65	—0,055.351	—0,023.388	+0,008.575	+0,040.538	+0,072.501	+0,104.464	+0,136.427	+0,118.390	+0,050.353	—0,017.684	—0,085.721
0,70	—0,047.526	—0,021.063	+0,005.400	+0,031.863	+0,058.326	+0,084.790	+0,111.253	**+0,137.716**	+0,064.179	—0,009.358	—0,082.895
0,75	—0,039.249	—0,018.062	+0,003.125	+0,024.313	+0,045.500	+0,066.687	+0,087.874	+0,109.061	+0,080.249	+0,001.456	—0,077.377
0,80	—0,030.775	—0,014.588	+0,001.600	+0,017.788	+0,033.975	+0,050.163	+0,066.350	+0,082.538	**+0,098.725**	+0,014.913	—0,068.900
0,85	—0,022.358	—0,010.841	+0,000.675	+0,012.192	+0,023.708	+0,035.225	+0,046.742	+0,058.258	+0,069.775	+0,031.291	—0,057.192
0,90	—0,014.254	—0,007.027	+0,000.200	+0,007.426	+0,014.653	+0,021.880	+0,029.107	+0,036.334	+0,043.560	**+0,050.787**	—0,041.986
0,95	—0,006.716	—0,003.346	+0,000.025	+0,003.395	+0,006.766	+0,010.136	+0,013.506	+0,016.877	+0,020.247	+0,023.618	—0,023.012
1,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS.

5 Travées. $\alpha = 1,00$

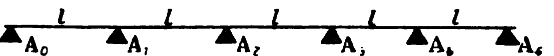
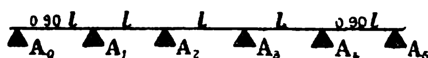


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_2}{}^3}{l}$, $\frac{m_3{}^3}{l}$, $\frac{M_3{}^3}{l}$ et $\frac{m_{P_3}{}^3}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_3}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_3}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_3}{l}$	SECTION DANS LA 3ᵉ TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 3ᵉ TRAVÉE.										
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_3}{l}$											
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,022.773	+0,023.782	+0,020.337	+0,016.892	+0,013.446	+0,010.000	+0,006.554	+0,003.110	−0,000.337	−0,003.782	−0,007.228
0,10	−0,041.512	**+0,051.106**	+0,043.724	+0,036.343	+0,028.961	+0,021.579	+0,014.197	+0,006.815	−0,000.566	−0,007.948	−0,015.330
0,15	−0,056.491	+0,031.755	+0,070.001	+0,058.247	+0,046.492	+0,034.738	+0,022.983	+0,011.229	−0,000.527	−0,012.282	−0,024.035
0,20	−0,067.981	+0,015.510	**+0,099.001**	+0,082.492	+0,065.983	+0,049.474	+0,032.964	+0,016.455	−0,000.054	−0,016.563	−0,033.072
0,25	−0,076.256	+0,002.153	+0,080.562	+0,108.971	+0,087.380	+0,065.790	+0,044.199	+0,022.608	+0,001.017	−0,020.574	−0,042.165
0,30	−0,081.588	−0,008.534	+0,064.521	**+0,137.576**	+0,110.630	+0,083.685	+0,056.739	+0,029.794	+0,002.848	−0,024.098	−0,051.043
0,35	−0,084.251	−0,016.769	+0,050.713	+0,118.194	+0,135.676	+0,103.158	+0,070.640	+0,038.122	+0,005.603	−0,026.915	−0,059.433
0,380.7	−0,084.681	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,084.517	−0,022.772	+0,038.974	+0,100.720	**+0,162.465**	+0,124.211	+0,085.956	+0,047.702	+0,009.447	−0,028.808	−0,067.062
0,45	−0,082.658	−0,026.758	+0,029.142	+0,085.042	+0,140.942	+0,146.842	+0,102.742	+0,058.642	+0,014.542	−0,029.558	−0,073.658
0,50	−0,078.947	−0,028.967	+0,021.053	+0,071.053	+0,121.053	**+0,171.053**	+0,121.053	+0,071.053	+0,021.053	−0,028.947	−0,078.947
0,55	−0,073.658	−0,029.558	+0,014.542	+0,058.642	+0,102.742	+0,146.842	+0,140.942	+0,085.042	+0,029.142	−0,026.758	−0,082.658
0,60	−0,067.062	−0,028.808	+0,009.447	+0,047.702	+0,085.956	+0,124.211	**+0,162.465**	+0,100.720	+0,038.974	−0,022.772	−0,084.517
0,619.3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	−0,084.681
0,65	−0,059.433	−0,026.915	+0,005.603	+0,038.122	+0,070.640	+0,103.158	+0,135.676	+0,118.194	+0,050.713	−0,016.769	−0,084.251
0,70	−0,051.043	−0,024.098	+0,002.848	+0,029.794	+0,056.739	+0,083.685	+0,110.630	**+0,137.576**	+0,064.521	−0,008.534	−0,081.588
0,75	−0,042.165	−0,020.574	+0,001.017	+0,022.608	+0,044.199	+0,065.790	+0,087.380	+0,108.971	+0,080.562	+0,002.153	−0,076.256
0,80	−0,033.072	−0,016.563	−0,000.054	+0,016.455	+0,032.964	+0,049.474	+0,065.983	+0,082.492	**+0,099.001**	+0,015.510	−0,067.081
0,85	−0,024.035	−0,012.282	−0,000.527	+0,011.229	+0,022.982	+0,034.738	+0,046.492	+0,058.247	+0,070.001	+0,031.755	−0,050.491
0,90	−0,015.330	−0,007.948	−0,000.566	+0,006.815	+0,014.197	0,021.579	+0,028.961	0,036.343	+0,043.724	[illegible]	−0,041.512
0,95	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

2e Cas.



5 Travées. $\alpha = 0{,}90$

Foyers.

Désignation des foyers	Distances à l'appui le plus voisin à gauche	Distances à l'appui le plus voisin à droite
F_2^1	0,717.241.4l	0,182.758.6l
F_1^2	0,208.333l	0,791.667l
F_2^2	0,788.690l	0,211 310l
F_1^3	0,211.111l	0,788.889l
F_2^3	0,788.889l	0,211.111l
F_1^4	0,211.310l	0,788.690l
F_2^4	0,791.667l	0,208.333l
F_1^5	0.182.758.6l	0,717.241.4l

Points d'influence.

Désignation des points d'influence	Distances à l'appui le plus voisin à gauche	Distances à l'appui le plus voisin à droite
I_2^1	0,519.615.2l	0,380.384.8l
I_1^2	0,380.429l	0,619.571l
I_2^2	0,618.702.4l	0,381.297.6l
I_1^3	0,380.489.5l	0,619.510.5l
I_2^3	0,619.510.3l	0,380.489.7l
I_1^4	0,381.297.6l	0,618.702.4l
I_2^4	0,619.571l	0,380.429l
I_1^5	0,380.384.8l	0,519.615.2l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^1 = +\ 0{,}392.668\ p_1 l - p_1 X_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^1 = +\ 0{,}065.423\ p_1 l$

Section dans la 3e travée.

$T_3^1 = -\ 0{,}017.525\ p_1 l$

Section dans la 4e travée.

$T_4^1 = +\ 0{,}004.675\ p_1 l$

Section dans la 5e travée.

$T_5^1 = -\ 0{,}001.082\ p_1 l$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^2 = - 0,057.574\ p_2 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^2 = + 0,498.718\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^2 = + 0,067.307\ p_2 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^2 = - 0,017.948\ p_2 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^2 = + 0,004.155\ p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = + 0,015.432\ p_3 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = - 0,066.667\ p_3 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = + 0,500.000\ p_3 l - p_3 X_3.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^3 = + 0,066.667\ p_3 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^3 = - 0,015.432\ p_3 l.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^4 = - 0,004.155\ p_4 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^4 = + 0,017.948\ p_4 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^4 = - 0,067.307\ p_4 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^4 = + 0,501.282\ p_4 l - p_4 X_4.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^4 = + 0,057.574\ p_4 l$

5e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^5 = + 0,001.082\ p_5 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^5 = - 0,004.675\ p_5 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^5 = + 0,017.525\ p_5 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^5 = - 0,065.423\ p_5 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^5 = + 0,507.332\ p_5 l - p_5 X_5.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = + 0{,}347.453\, pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = + 0{,}510.747\, pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = + 0{,}500.000\, pl - pX_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4 = + 0{,}489.253\, pl - pX_4.$

Section dans la 5e travée.

$T_5 = + 0{,}552.547\, pl - pX_5.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = + 0{,}392.668\, p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = - 0{,}051.599\, p_1 l^2 + 0{,}065.423\, p_1 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = + 0{,}013.825\, p_1 l^2 - 0{,}017.525\, p_1 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^1 = - 0{,}003.700\, p_1 l^2 + 0{,}004.675\, p_1 l X_4.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^1 = + 0{,}000.974\, p_1 l^2 - 0{,}001.082\, p_1 l X_5.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = - 0{,}057.574\, p_2 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = - 0{,}051.816\, p_2 l^2 + 0{,}498.718\, p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = - 0{,}053.098\, p_2 l^2 + 0{,}067.307\, p_2 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^2 = + 0{,}014.209\, p_2 l^2 - 0{,}017.948\, p_2 l X_4.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^2 = - 0{,}003.739\, p_2 l^2 + 0{,}004.155\, p_2 l X_5.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^3 = +\,0{,}015.432\; p_3 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^3 = +\,0{,}013.889\; p_3 l^2 - 0{,}066.667\; p_3 l X_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^3 = -\,0{,}052.778\; p_3 l^2 + 0{,}500.000\; p_3 l X_3 - p_3 \frac{X_3^2}{2}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4^3 = -\,0{,}052.778\; p_3 l^2 + 0{,}066.667\; p_3 l X_4.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5^3 = +\,0{,}013.889\; p_3 l^2 - 0{,}015.432\; p_3 l X_5.$$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^4 = -\,0{,}004.155\; p_4 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^4 = -\,0{,}003.739\; p_1 l^2 + 0{,}017.948\; p_4 l X_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^4 = +\,0{,}014.209\; p_4 l^2 - 0{,}067.307\; p_4 l X_3.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4^4 = -\,0{,}053.098\; p_4 l^2 + 0{,}501.282\; p_4 l X_4 - p_4 \frac{X_4^2}{2}.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5^4 = -\,0{,}051.816\; p_4 l^2 + 0{,}057.574\; p_4 l X_5.$$

5e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^5 = +\,0{,}001.082\; p_5 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^5 = +\,0{,}000.974\; p_5 l^2 - 0{,}004.675\; p_5 l X_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^5 = -\,0{,}003.700\; p_5 l^2 + 0{,}017.525\; p_5 l X_3.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4^5 = +\,0{,}013.825\; p_5 l^2 - 0{,}065.423\; p_5 l X_4.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5^5 = -\,0{,}051.579\; p_5 l^2 + 0{,}507.332\; p_5 l X_5 - p_5 \frac{X_5^2}{2}.$$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = +0{,}347{,}453\, plX_1 - p\frac{X_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = -0{,}092.291\, pl^2 + 0{,}510.747\, plX_2 - p\frac{X_2^2}{2}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3 = -0{,}081.542\, pl^2 + 0{,}500.000\, plX_3 - p\frac{X_3^2}{2}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4 = -0{,}081.542\, pl^2 + 0{,}489.253\, plX_4 - p\frac{X_4^2}{2}.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5 = -0{,}092.291\, pl^2 + 0{,}552.447\, plX_5 - p\frac{X_5^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	$\mu p_1^1 = -0{,}051.599\, p_1l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^1 = +0{,}013.825\, p_1l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^1 = -0{,}003.700\, p_1l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4^1 = +0{,}000.974\, p_1l^2.$	Moment sur pile n° 4.
2e travée seule chargée	$\mu p_1^2 = -0{,}051.816\, p_2l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^2 = -0{,}053.098\, p_2l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^2 = +0{,}014.209\, p_2l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4^2 = -0{,}003.739\, p_2l^2.$	Moment sur pile n° 4.
3e travée seule chargée	$\mu p_1^3 = +0{,}013.889\, p_3l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^3 = -0{,}052.778\, p_3l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^3 = -0{,}052.778\, p_3l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4^3 = +0{,}013.889\, p_3l^2.$	Moment sur pile n° 4.
4e travée seule chargée	$\mu p_1^4 = -0{,}003.739\, p_4l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^4 = +0{,}014.209\, p_4l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^4 = -0{,}053.098\, p_4l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4^4 = -0{,}051.816\, p_4l^2.$	Moment sur pile n° 4.
5e travée seule chargée	$\mu p_1^5 = +0{,}000.974\, p_5l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2^5 = -0{,}003.700\, p_5l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3^5 = +0{,}013.825\, p_5l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4^5 = -0{,}051.599\, p_5l^2.$	Moment sur pile n° 4.

Toutes les travées également chargées	$\mu_{P_1} = -\ 0{,}092.291\ pl^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu_{P_2} = -\ 0{,}081.542\ pl^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu_{P_3} = -\ 0{,}081.542\ pl^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu_{P_4} = -\ 0{,}092.291\ pl^2.$	Moment sur pile n° 4.

CHARGES DISCONTINUES.

Équations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$y_1^1 = -\ 1{,}394.230.7\ \frac{x^1}{l} + 0{,}349.530.5\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1^1 = 1 - 1{,}394.230.7\ \frac{x_1}{l} + 0{,}349.530.5\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2^1 = +\ 0{,}323.076.9\ \frac{x_1}{l} - 0{,}398.860.4\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0{,}544.872\frac{x_2}{l} + 0{,}943.732\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}398.860\frac{x_2^3}{l_3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -0{,}646.154\frac{x_2}{l} - 1{,}076.923\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}723.077\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}646.154\frac{x_2}{l} - 1{,}076.923\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}723.077\frac{x_2^3}{l_3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^2 = +0{,}173.077.0\frac{x_2}{l} + 0{,}288.461.7\frac{x_2^2}{l^2} - 0{,}461.538.7\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 3e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^3 = +0{,}146.011.5\frac{x_3}{l} - 0{,}252.849.0\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}106.837.5\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$Y_2^3 = -0{,}630.769.2\frac{x_3}{l} + 1{,}092.307.6\frac{x_3^2}{l^2} - 0{,}461.538.4\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 < X_3$.

$$y_3^3 = -0{,}634.615\frac{x_3}{l} - 1{,}096.154\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}730.769\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 > X_3$.

$$Y_3^3 = 1 - 0{,}634.615\frac{x_3}{l} - 1{,}096.154\frac{x_3^2}{l_2} + 0{,}730.769\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^3 = +0{,}169.231\frac{x_3}{l} + 0{,}292.307\frac{x_3^2}{l^2} - 0{,}461.538\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x_1 < X_1$.

$$\frac{m_1^1}{l} = y_1^1\frac{X_1}{l} + \frac{x_1}{l}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$\frac{M_1^1}{l} = Y_1^1\frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{m_2^1}{l} = \frac{1}{l}\,m_{P_1}{}^1 + y_2^1\frac{X_2}{l}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1^2}{l} = Y_1^2\frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$\frac{m_2^2}{l} = \frac{1}{l}\,M_{P_1}{}^2 + y_2^2\frac{X_2}{l} + \frac{x_2}{l}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$\frac{M_2^2}{l} = \frac{1}{l}\,M_{P_1}{}^2 + Y_2^2\frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\frac{m_3^2}{l} = \frac{1}{l}\,m_{P_2}{}^2 + y_3^2\frac{X_3}{l}.$$

Mobile sur la 3e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{M_1{}^3}{l} = Y_1{}^3 \frac{X^1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{M_2{}^3}{l} = \frac{1}{l} M_{P_1}{}^3 + Y_2{}^3 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 < X_3$.

$$\frac{m_3{}^3}{l} = \frac{1}{l} M_{P_2}{}^3 + y_3{}^3 \frac{X_3}{l} + \frac{x_3}{l}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 > X_3$.

$$\frac{M_3{}^3}{l} = \frac{1}{l} M_{P_2}{}^3 + Y_3{}^3 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{m^3{}_4}{l} = \frac{1}{l} m_{P_3}{}^3 + y_4{}^3 \frac{X_4}{l}.$$

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{m_{P_1}{}^1}{l} = -\ 0,254.807.6 \frac{x_1}{l} + 0,314.577.4 \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}{}^1}{l} = +\ 0,068.269 \frac{x_1}{l} - 0,084.089 \frac{x_1{}^3}{l_3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}{}^2}{l} = -0,490.384.5 \frac{x_2}{l} + 0,849.358.5 \frac{x_2{}^2}{l_2} - 0,358.974 \frac{x_2{}^3}{l_3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{m_{P_2}{}^2}{l} = -0,136.539 \frac{x_2}{l} - 0,227.564 \frac{x_2{}^2}{l_2} + 0,364.103 \frac{x_2{}^3}{l_3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}{}^2}{l} = +0,036.538.5 \frac{x_2}{l} + 0,060.897.5 \frac{x_2{}^2}{l_2} - 0,097.436.0 \frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 3e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{M_{P_1}^{3}}{l} = +0{,}131.410.3\frac{x_3}{l} - 0{,}227.564.1\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}096.153.8\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{M_{P_2}^{3}}{l} = -0{,}499.359\frac{x_3}{l} + 0{,}864.744\frac{x_3^2}{l_2} - 0{,}365.385\frac{x_3^3}{l_3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{m_{P_3}^{3}}{l} = -0{,}133.974.8\frac{x_3}{l} - 0{,}231.409.7\frac{x_3^2}{l_2} + 0{,}365.384.5\frac{x_3^3}{l_3}.$$

Moment sur pile n° 4.

$$\frac{m_{P_4}^{3}}{l} = +0{,}035.256.5\frac{x_3}{l} + 0{,}060.897.3\frac{x_3^2}{l_2} - 0{,}096.153.8\frac{x_3^3}{l_3}.$$

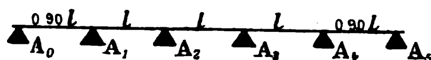
EF

5 Travées.

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'in

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE			MOBILE SUR LA 2e T		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e T	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$			$x_2 < X_2$	$x_2 >$
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	Y_1^2	y_2^2	Y
0,00	0,000.000	+ 1,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	+ 1,0
0,05	— 0,069.668	+ 0,930.332	+ 0,016.104	— 0,024.934	— 0,034.910	+ 0,9
0,10	— 0,139.074	+ 0,860.926	+ 0,031.909	— 0,045.449	— 0,074.662	+ 0,9
0,15	— 0,207.955	+ 0,792.045	+ 0,047.115	— 0,061.843	— 0,118.714	+ 0,8
0,20	— 0,276.050	+ 0,723.950	+ 0,061.424	— 0,074.416	— 0,166.523	+ 0,8
0,25	— 0,343.096	+ 0,656.904	+ 0,074.537	— 0,083.467	— 0,217.548	+ 0,7
0,30	— 0,408.832	+ 0,591.168	+ 0,086.154	— 0,089.295	— 0,271.246	+ 0,7
0,35	— 0,472.994	+ 0,527.006	+ 0,095.975	— 0,092.199	— 0,327.074	+ 0,6
0,380.4	»	»	»	— 0,092.663	»	»
0,381.3	»	»	»	»	»	»
0,40	— 0,535.322	+ 0,464.678	+ 0,103.704	— 0,092.478	— 0,384.492	+ 0,6
0,45	— 0,595.553	+ 0,404.447	+ 0,109.038	— 0,090.432	— 0,442.955	+ 0,5
0,50	— 0,653.424	+ 0,346.576	+ 0,111.681	— 0,086.360	— 0,501.923	+ 0,5
0,519.6	— 0,675.486	»	+ 0,111.917	»	»	»
0,55	— 0,708.673	+ 0,291.327	+ 0,111.331	— 0,080.561	— 0,560.852	+ 0,4
0,60	— 0,761.040	+ 0,238.960	+ 0,107.692	— 0,073.333	— 0,619.200	+ 0,3
0,613.7	»	»	»	— 0,070.323	— 0,640.765	»
0,619.5	»	»	»	»	»	»
0,65	— 0,810.260	+ 0,189.740	+ 0,100.462	— 0,064.977	— 0,676.425	+ 0,3
0,70	— 0,856.073	+ 0,143.927	+ 0,089.345	— 0,055.791	— 0,731.985	+ 0,2
0,75	— 0,898.215	+ 0,101.785	+ 0,074.039	— 0,046.074	— 0,785.337	+ 0,2
0,80	— 0,936.425	+ 0,063.575	+ 0,054.245	— 0,036.126	— 0,835.939	+ 0,1
0,85	— 0,970.440	+ 0,029.560	+ 0,029.666	— 0,026.245	— 0,883.248	+ 0,1
0,90	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0,016.731	— 0,926.723	+ 0,0
0,95				— 0,007.883	— 0,965.821	+ 0,0
1,00				— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,0

ANT.



t tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

MOBILE SUR LA 3e TRAVÉE				
SECTION dans la 1re travée	SECTION dans la 2e travée	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE		SECTION dans la 4e travée
		$x_3 < X_3$	$x_3 > X_3$	
Y_1^3	Y_2^3	y_3^3	Y_3^3	y_4^3
+ 0,000.000	— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000
+ 0,006.682	— 0,028.865	— 0,034.380	+ 0,965.620	+ 0,009.135
+ 0,012.179	— 0,052.615	— 0,073.692	+ 0,926.308	+ 0,019.385
+ 0,016.573	— 0,071.596	— 0,117.389	+ 0,882.611	+ 0,030.404
+ 0,019.943	— 0,086.154	— 0,164.923	+ 0,835.077	+ 0,041.846
+ 0,022.369	— 0,096.635	— 0,215.745	+ 0,784.255	+ 0,053.365
+ 0,023.932	— 0,103.385	— 0,269.308	+ 0,730.692	+ 0,064.615
+ 0,024.711	— 0,106.750	— 0,325.062	+ 0,674.938	+ 0,075.250
»	»	»	»	»
+ **0,024.835**	— **0,107.289**	»	»	»
+ 0,024.786	— 0,107.077	— 0,382.462	+ 0,617.538	+ 0,084.923
+ 0,024.239	— 0,104.712	— 0,440.957	+ 0,559.043	+ 0,093.288
+ 0,023.148	— 0,100.000	— 0,500.000	+ 0,500.000	+ 0,100.000
»	»	»	»	»
+ 0,021.595	— 0,093.288	— 0,559.043	+ 0,440.957	+ 0,104.712
+ 0,019.658	— 0,084.923	— 0,617.538	+ 0,382.462	+ 0,107.077
»	»	»	»	»
+ 0,018.816	— 0,081.285	— 0,640.096	»	+ **0,107.289**
+ 0,017.419	— 0,075.250	— 0,674.938	+ 0,325.062	+ 0,106.750
+ 0,014.957	— 0,064.615	— 0,730.692	+ 0,269.308	+ 0,103.385
+ 0,012.353	— 0,053.365	— 0,784.255	+ 0,215.745	+ 0,09[illegible].635
+ 0,009.687	— 0,041.846	— 0,835.077	+ 0,164.923	+ 0,086.154
+ 0,007.038	— 0,030.404	— 0,882.611	+ 0,117.389	+ 0,071.596
+ 0,004.487	— 0,019.385	— 0,926.308	+ 0,073.692	+ 0,052.615
+ 0,002.114	— 0,009.135	— 0,965.620	+ 0,034.380	+ 0,028.865
+ 0,000.000	— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS.

5 Travées. $\alpha = 0,90$

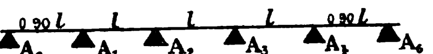


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$, $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.								
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
$\frac{x_1}{l}$									
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,043.033	+ 0,036.066	+ 0,029.100	+ 0,022.133	+ 0,015.166	+ 0,008.199	+ 0,001.232	— 0,005.734	— 0,012.701
0,10	+ [illegible]	+ 0,072.185	+ 0,058.278	+ 0,044.371	+ 0,030.464	+ 0,016.556	+ 0,002.649	— 0,011.258	— 0,025.166
0,15	+ 0,079.205	+ 0,108.409	+ 0,087.614	+ 0,066.818	+ 0,046.023	+ 0,025.227	+ 0,004.432	— 0,016.364	— 0,037.160
0,20	+ 0,072.395	+ 0,144.791	+ 0,117.185	+ 0,089.580	+ 0,061.975	+ 0,034.370	+ 0,006.765	— 0,020.840	— 0,048.445
0,25	+ 0,065.690	+ 0,131.381	+ 0,147.071	+ 0,112.762	+ 0,078.452	+ 0,044.142	+ 0,009.833	— 0,024.477	— 0,058.786
0,30	+ 0,059.117	+ 0,118.234	+ 0,177.35[illegible]	+ 0,136.467	+ 0,095.584	+ 0,054.701	+ 0,013.818	— 0,027.066	— 0,067.949
0,35	+ 0,052.701	+ 0,105.401	+ 0,158.102	+ 0,160.802	+ 0,113.503	+ 0,066.204	+ 0,018.904	— 0,028.395	— 0,076.695
0,40	+ 0,046.468	+ 0,092.936	+ 0,139.403	+ 0,185.871	+ 0,132.339	+ 0,078.807	+ 0,025.275	— 0,028.258	— 0,081.790
0,45	+ 0,040.445	+ 0,080.889	+ 0,121.334	+ 0,161.778	+ 0,152.224	+ 0,092.668	+ 0,033.113	— 0,026.442	— 0,085.998
0,50	+ 0,034.658	+ 0,069.315	+ 0,103.973	+ 0,138.630	+ 0,173.288	+ 0,107.946	+ 0,042.603	— 0,022.739	— 0,088.082
0.519.6	»	»	»	»	»	»	»	»	— 0,088.267
0,55	+ 0,029.133	+ 0,058.265	+ 0,087.398	+ 0,116.531	+ 0,145.664	+ 0,124.796	+ 0,053.929	— 0,018.938	— 0,087.806
0,60	+ 0,023.896	+ 0,047.792	+ 0,071.688	+ 0,095.584	+ 0,119.480	+ 0,143.37[illegible]	+ 0,067.272	— 0,008.832	— 0,084.936
0,65	+ 0,018.974	+ 0,037.948	+ 0,056.922	+ 0,075.896	+ 0,094.870	+ 0,113.844	+ 0,082.818	+ 0,001.792	— 0,079.234
0,70	+ 0,014.393	+ 0,028.786	+ 0,043.178	+ 0,057.571	+ 0,071.964	+ 0,086.356	+ [illegible]	+ 0,016.142	— 0,070.465
0,75	+ 0,010.179	+ 0,020.357	+ 0,030.536	+ 0,040.714	+ 0,050.893	+ 0,061.071	+ 0,071.250	+ 0,031.428	— 0,058.804
0,80	+ 0,006.358	+ 0,012.715	+ 0,019.073	+ 0,025.430	+ 0,031.788	+ 0,038.145	+ 0,044.508	+ [illegible]	— 0,042.788
0,85	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ 0,017.790	+ [illegible]	+ [illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

5 Travées. $\alpha = 0{,}90$

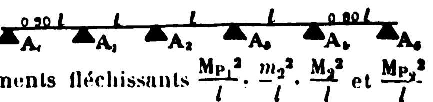


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{M_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE.										
$\frac{x_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	−0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,022.441	+0,024.068	+0,020.577	+0,017.686	+0,013.595	+0,010.104	+0,006.613	+0,003.122	−0,000.369	−0,003.860	−0,007.351
0,10	−0,040.904	**+0,051.630**	+0,044.164	+0,036.697	+0,029.231	+0,021.765	+0,014.299	+0,006.833	−0,000.634	−0,008.100	−0,015.566
0,15	−0,055.659	+0,032.470	+0,070.599	+0,058.727	+0,046.856	+0,034.984	+0,023.113	+0,011.242	−0,000.630	−0,012.501	−0,024.373
0,20	−0,066.974	+0,016.373	**+0,099.721**	+0,083.069	+0,066.416	+0,049.764	+0,033.112	+0,016.460	−0,000.193	−0,016.845	−0,033.497
0,25	−0,075.120	+0,003.125	+0,081.370	+0,109.615	+0,087.861	+0,066.106	+0,044.351	+0,022.596	+0,000.841	−0,020.914	−0,042.668
0,30	−0,080.366	−0,007.490	+0,065.385	**+0,138.260**	+0,111.136	+0,084.011	+0,056.886	+0,029.762	+0,002.637	−0,024.488	−0,051.613
0,35	−0,082.979	−0,015.687	+0,051.606	+0,118.898	+0,136.191	+0,103.483	+0,070.776	+0,038.068	+0,005.361	−0,027.347	−0,060.054
0,380.429	**−0,083.397**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,083.230	−0,021.680	+0,039.871	+0,101.422	**+0,162.973**	+0,124.523	+0,086.074	+0,047.625	+0,009.175	−0,023.274	−0,067.723
0,45	−0,081.389	−0,025.684	+0,030.020	+0,085.724	+0,141.429	+0,147.133	+0,102.838	+0,058.542	+0,014.246	−0,030.049	−0,074.345
0,50	−0,077.724	−0,027.916	+0,021.891	+0,071.699	+0,121.506	**+0,171.314**	+0,121.122	+0,070.929	+0,020.737	−0,029.456	−0,079.648
0,55	−0,072.505	−0,028.590	+0,015.325	+0,059.240	+0,103.154	+0,147.069	+0,140.984	+0,084.899	+0,028.814	−0,027.272	0,083.357
0,60	−0,066.000	−0,027.920	+0,010.160	+0,048.240	+0,086.320	+0,124.400	**+0,162.480**	+0,100.560	+0,038.640	−0,023.280	−0,085.200
0,618.702	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,085.354**
0,65	−0,058.479	−0,026.122	+0,006.236	+0,038.593	+0,070.951	+0,103.308	+0,135.666	+0,118.023	+0,050.381	−0,017.262	−0,084.904
0,70	−0,050.211	−0,023.410	+0,003.392	+0,030.194	+0,056.995	+0,083.797	+0,110.598	**+0,137.400**	+0,064.201	−0,008.998	−0,082.196
0,75	−0,041.466	−0,019.999	+0,001.467	+0,022.933	+0,044.400	+0,065.866	+0,087.332	+0,108.798	+0,080.265	+0,001.731	−0,076.803
0,80	−0,032.513	−0,016.106	+0,000.300	+0,016.706	+0,033.112	+0,049.518	+0,065.924	+0,082.330	**+0,098.736**	+0,015.142	−0,068.452
0,85	−0,023.621	−0,011.945	−0,000.270	+0,011.405	+0,023.080	+0,037.756	+0,046.431	+0,058.106	+0,069.781	+0,031.456	−0,056.869
0,90	−0,015.058	−0,007.730	−0,000.403	+0,006.925	+0,014.253	+0,021.581	+0,028.908	+0,036.236	+0,043.564	**+0,050.891**	−0,041.781
0,95	−0,007.095	−0,003.677	−0,000.259	+0,003.159	+0,006.577	+0,009.995	+0,013.413	+0,016.831	+0,020.249	+0,023.666	−0,022.916
1,00	−0,000.000	−0,000.000	−0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	−0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS.

5 Travées. $\alpha = 0,90$

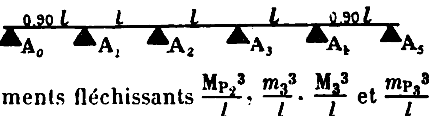
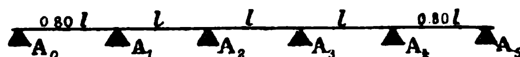


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des mouvements fléchissants $\frac{M_{P_2}^3}{l}$, $\frac{m_3^3}{l}$, $\frac{M_3^3}{l}$ et $\frac{m_{P_3}^3}{l}$

pour des valeurs de $\frac{x_3}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_3}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_3}{l}$ / $\frac{x_3}{l}$	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 3e TRAVÉE. 0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,022.852	+0,023.711	+0,020.273	+0,016.835	+0,013.397	+0,009.959	+0,006.521	+0,003.083	−0,000.355	−0,003.793	−0,007.232
0,10	−0,041.654	+**0,050977**	+0,043.608	+0,036.239	+0,028.869	+0,021.500	+0,014.131	+0,006.762	−0,000.608	−0,007.977	−0,015.346
0,15	−0,056.681	+0,031.581	+0,069.842	+0,058.103	+0,046.364	+0,034.625	+0,022.886	+0,011.147	−0,000.592	−0,012.330	−0,024.070
0,20	−0,068.205	+0,015.302	+**0,098810**	+0,082.318	+0,065.826	+0,049.333	+0,032.841	+0,016.349	−0,000.144	−0,016.636	−0,033.128
0,25	−0,076.503	+0,001.923	+0,080.348	+0,108.774	+0,087.199	+0,065.625	+0,044.050	+0,022.476	+0,000.901	−0,020.673	−0,042.248
0,30	−0,081.846	−0,008.777	+0,064.292	+**0,137361**	+0,110.431	+0,083.500	+0,056.569	+0,029.638	+0,002.707	−0,024.223	−0,051.154
0,35	−0,084.511	−0,017.016	+0,050.478	+0,117.971	+0,135.465	+0,102.959	+0,070.453	+0,037.947	+0,005.440	−0,027.066	−0,059.573
0,380.489.5	−**0084938**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,084.769	−0,023.016	+0,038.738	+0,100.492	+**0,162246**	+0,123.999	+0,085.753	+0,047.507	+0,009.261	−0,028.985	−0,067.232
0,45	−0,082.896	−0,026.993	+0,028.912	+0,084.816	+0,140.720	+0,146.625	+0,102.529	+0,058.433	+0,014.338	−0,029.758	−0,073.854
0,50	−0,079.167	−0,029.167	+0,020.833	+0,070.833	+0,120.833	+**0,170833**	+0,120.833	+0,070.833	+0,020.833	−0,029.167	−0,079.167
0,55	−0,073.854	−0,029.758	+0,014.338	+0,058.433	+0,102.529	+0,146.625	+0,140.720	+0,084.816	+0,028.912	−0,026.993	−0,082.896
0,60	−0,067.232	−0,028.985	+0,009.261	+0,047.507	+0,085.753	+0,123.999	+**0,162246**	+0,100.492	+0,038.738	−0,023.016	−0,084.769
0,619.510.5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	−**0,084938**
0,65	−0,059.573	−0,027.066	+0,005.440	+0,037.947	+0,070.453	+0,102.959	+0,135.465	+0,117.971	+0,050.478	−0,017.016	−0,084.510
0,70	−0,051.154	−0,024.223	+0,002.707	+0,029.638	+0,056.569	+0,083.500	+0,110.431	+**0,137361**	+0,064.292	−0,008.777	−0,081.846
0,75	−0,042.248	−0,020.673	+0,000.901	+0,022.476	+0,044.050	+0,065.625	+0,087.199	+0,108.774	+0,080.348	+0,001.923	−0,076.503
0,80	−0,033.128	−0,016.646	−0,000.144	+0,016.349	+0,032.841	+0,049.333	+0,065.826	+0,082.318	+**0,098810**	+0,015.302	−0,068.205
0,85	−0,024.070	−0,012.330	−0,000.592	+0,011.147	+0,022.886	+0,034.625	+0,046.364	+0,058.103	+0,069.842	+0,031.581	−0,056.681
0,90	0,015.346	−0,007.977	−0,000.608	+0,006.762	+0,014.131	+0,021.500	+0,028.869	+0,036.239	+0,043.608	**0,050977**	−0,041.654
0,95	−0,007.282	−0,003.793	−0,000.355	+0,003.083	+0,006.521	+0,009.959	+0,013.397	+0,016.835	+0,020.273	+0,023.711	−0,022.852
1,00	[illegible]	[illegible]	0,000.000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,000.000	[illegible]

3e Cas.



5 Travées. $\alpha = 0,80$

Foyers.

Désignation des foyers	Distances à l'appui le plus voisin — à gauche	Distances à l'appui le plus voisin — à droite
F_2^1	0,645.111.3l	0,154.888.7l
F_1^2	0,217.391l	0,782.609l
F_2^2	0,788.644l	0,211.356l
F_1^3	0,211.765l	0,788.235l
F_2^3	0,788.235l	0,211.765l
F_1^4	0,211.356l	0,788.644l
F_2^4	0,782.609l	0,217.391l
F_1^5	0,154.888.7l	0,645.111.3l

Points d'influence.

Désignation des points d'influence	Distances à l'appui le plus voisin — à gauche	Distances à l'appui le plus voisin — à droite
I_2^1	0,461.880.2l	0,338.119.8l
I_1^2	0,380.417.8l	0,619.582.2l
I_2^2	0,621.372.7l	0,378.627.3l
I_1^3	0,380.297.5l	0,619.702.5l
I_2^3	0,619.701.1l	0,380.298.9l
I_1^4	0,378.627.3l	0,621.372.7l
I_2^4	0,619.582.2l	0,380.417.8l
I_1^5	0,338.119.8l	0,461.880.2l

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^1 = +\ 0,351.981\ p_1 l - p_1 X_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^1 = +\ 0,048.711\ p_1 l.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^1 = -\ 0,013.061\ p_1 l.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^1 = +\ 0,003.534\ p_1 l.$

Section dans la 5e travée.

$T_5^1 = -\ 0,000.960\ p_1 l.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$T_1^2 = -\ 0,068.652\ p_2 l.$

Section dans la 2e travée.

$T_2^2 = +\ 0,502.641\ p_2 l - p_2 X_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3^2 = +\ 0,066.326\ p_2 l.$

Section dans la 4e travée.

$T_4^2 = -\ 0,017.947\ p_2 l.$

Section dans la 5e travée.

$T_5^2 = +\ 0,004.877\ p_2 l.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^3 = + 0{,}018.382\ p_3 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^3 = - 0{,}067.647\ p_3 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^3 = + 0{,}500.000\ p_3 l - p_3 X_3.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^3 = + 0{,}067.647\ p_3 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^3 = - 0{,}018.382\ p_3 l.$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^4 = - 0{,}004.877\ p_4 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^4 = + 0{,}017.947\ p_4 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^4 = - 0{,}066.326\ p_4 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^4 = + 0{,}497.359\ p_4 l - p_4 X_4.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^4 = + 0{,}068.652\ p_4 l.$

5e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^5 = + 0{,}000.960\ p_5 l.$
Section dans la 2e travée.
$T_2^5 = - 0{,}003.534\ p_5 l.$
Section dans la 3e travée.
$T_3^5 = + 0{,}013.061\ p_5 l.$
Section dans la 4e travée.
$T_4^5 = - 0{,}048.711\ p_5 l.$
Section dans la 5e travée.
$T_5^5 = + 0{,}448.019\ p_5 l - p_5 X_5.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.
$T_1 = + 0{,}297.794\ pl - pX_1.$
Section dans la 2e travée.
$T_2 = + 0{,}498.118\ pl - pX_2.$
Section dans la 3e travée.
$T_3 = + 0{,}500.000\ pl - pX_3.$
Section dans la 4e travée.
$T_1 = + 0{,}501.882\ pl - pX_4.$
Section dans la 5e travée.
$T_5 = + 0{,}502.206\ pl - pX_5.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = +\ 0{,}351.981\ p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}$.

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = -\ 0{,}038.415\ p_1 l^2 + 0{,}048.711\ p_1 l X_2$.

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = +\ 0{,}010.295\ p_1 l^2 - 0{,}013.061\ p_1 l X_3$.

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^1 = -\ 0{,}002.766\ p_1 l^2 + 0{,}003.534\ p_1 l X_4$.

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^1 = +\ 0{,}000.768\ p_1 l^2 - 0{,}000.960\ p_1 l X_5$.

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = -\ 0{,}068.652\ p_2 l X_1$.

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = -\ 0{,}054\ 922\ p_2 l^2 + 0{,}502.641\ p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}$.

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = -\ 0{,}052.281\ p_2 l^2 + 0{,}066.326\ p_2 l X_3$.

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^2 = +\ 0{,}014.046\ p_2 l^2 - 0{,}017.947\ p_2 l X_4$.

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^2 = -\ 0{,}003.902\ p_2 l^2 + 0{,}004.877\ p_2 l X_5$.

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^3 = +\ 0{,}018.382\ p_3 l X_1$.

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^3 = +\ 0{,}014.706\ p_3 l^2 - 0{,}067.647\ p_3 l X_2$.

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^3 = -\ 0{,}052.941\ p_3 l^2 + 0{,}500.000\ p_3 l X_3 - p_3 \frac{X_3^2}{2}$.

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^3 = -\ 0{,}052.941\ p_3 l^2 + 0{,}067.647\ p_3 l X_4$.

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^3 = +\ 0{,}014.706\ p_3 l^2 - 0{,}018.382\ p_3 l X_5$.

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^4 = -\ 0{,}004.877\ p_4lX_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^4 = -\ 0{,}003.902\ p_4l^2 + 0{,}017.947\ p_4lX_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^4 = +\ 0{,}014.046\ p_4l^2 - 0{,}066.326\ p_4lX_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^4 = -\ 0{,}052.281\ p_4l^2 + 0{,}497.359\ p_4lX_4 - p_4\frac{X_4^2}{2}.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^4 = -\ 0{,}054.922\ p_4l^2 + 0{,}068.652\ p_4lX_5.$

5e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^5 = +\ 0{,}000.960\ p_5lX_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^5 = +\ 0{,}000.768\ p_5l^2 - 0{,}003.534\ p_5lX_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^5 = -\ 0{,}002.766\ p_5l^2 + 0{,}013.061\ p_5lX_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^5 = +\ 0{,}010.295\ p_5l^2 - 0{,}048.711\ p_5lX_4.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^5 = -\ 0{,}038.415\ p_5l^2 + 0{,}448.019\ p_5lX_5 - p_5\frac{X_5^2}{2}.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$\mu_1 = +\ 0{,}297.794\ plX_1 - p\frac{X_1^2}{2}.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2 = -\ 0{,}081.765\ pl^2 + 0{,}498.118\ plX_2 - p\frac{X_2^2}{2}.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3 = -\ 0{,}083.647\ pl^2 + 0{,}500.000\ plX_3 - p\frac{X_3^2}{2}.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4 = -\ 0{,}083.647\ pl^2 + 0{,}501.882\ plX_4 - p\frac{X_4^2}{2}.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5 = -\ 0{,}081.745\ pl^2 + 0{,}502.206\ plX_5 - p\frac{X_5^2}{2}.$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	$\mu p_1{}^1 = -\ 0{,}038.415\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2{}^1 = +\ 0{,}010.295\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3{}^1 = -\ 0{,}002.766\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4{}^1 = +\ 0{,}000.768\ p_1 l^2.$	Moment sur pile n° 4.
2e travée seule chargée	$\mu p_1{}^2 = -\ 0{,}054.922\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2{}^2 = -\ 0{,}052.281\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3{}^2 = +\ 0{,}014.046\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4{}^2 = -\ 0{,}003.902\ p_2 l^2.$	Moment sur pile n° 4.
3e travée seule chargée	$\mu p_1{}^3 = +\ 0{,}014.706\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2{}^3 = -\ 0{,}052.941\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3{}^3 = -\ 0{,}052.941\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4{}^3 = +\ 0{,}014.706\ p_3 l^2.$	Moment sur pile n° 4.
4e travée seule chargée	$\mu p_1{}^4 = -\ 0{,}003.902\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2{}^4 = +\ 0{,}014.046\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3{}^4 = -\ 0{,}052.281\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4{}^4 = -\ 0{,}054.922\ p_4 l^2.$	Moment sur pile n° 4.
5e travée seule chargée	$\mu p_1{}^5 = +\ 0{,}000.768\ p_5 l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2{}^5 = -\ 0{,}002.766\ p_5 l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3{}^5 = +\ 0{,}010.295\ p_5 l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4{}^5 = -\ 0{,}038.415\ p_5 l^2.$	Moment sur pile n° 4.
Toutes les travées également chargées	$\mu p_1 = -\ 0{,}081.765\ p l^2.$	Moment sur pile n° 1.
	$\mu p_2 = -\ 0{,}083.647\ p l^2.$	Moment sur pile n° 2.
	$\mu p_3 = -\ 0{,}083.647\ p l^2.$	Moment sur pile n° 3.
	$\mu p_4 = -\ 0{,}081.765\ p l^2.$	Moment sur pile n° 4.

CHARGES DISCONTINUES.

Equations des lignes d'influence de l'effort tranchant.

Mobile sur la 1re travée

Section dans la 1re travée $x^1 < X_1$.

$$y_1{}^1 = -\ 1{,}550.120\ \frac{x_1}{l} + 0{,}468.937.5\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 1re travée $x_1 > X_1$.

$$Y_1{}^1 = 1 - 1{,}550.120\ \frac{x_1}{l} + 0{,}468.937{,}5\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$y_2{}^1 = +\ 0{,}304.441.8\ \frac{x_1}{l} - 0{,}475.490.2\ \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^2 = -0{,}649.760\frac{x_2}{l} + 1{,}125.450.4\frac{x_2^2}{l_2} - 0{,}475.690.4\frac{x_2^3}{l_3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 < X_2$.

$$y_2^2 = -0{,}608.883.6\frac{x_2}{l} - 1{,}141.656.8\frac{x_2^2}{l^2} + 0{,}750.540.4\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée $x_2 > X_2$.

$$Y_2^2 = 1 - 0{,}608.883.6\frac{x_2}{l} - 1{,}141.656.8\frac{x_2^2}{l_2} + 0{,}750.540.4\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée.

$$y_3^2 = +0{,}163.265.5\frac{x_2}{l} + 0{,}306.122.4\frac{x_2^2}{l_2} - 0{,}469.387.9\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 3e travée

Section dans la 1re travée.

$$Y_1^3 = +\ 0{,}174.070\frac{x_3}{l} - 0{,}301.621\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}127.551\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 2e travée.

$$Y_2^3 = -0{,}640.576\frac{x_3}{l} + 1{,}109.964\frac{x_3^2}{l^2} - 0{,}469.388\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 < X_3$.

$$y_3^3 = -0{,}632.653.1\frac{x_3}{l} - 1{,}102.040.8\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}734.693.9\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 > X_3$.

$$Y_3^3 = 1 - 0{,}632.653.1\frac{x_3}{l} - 1{,}102.040.8\frac{x_3^2}{l^2} + 0{,}734.693.9\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Section dans la 4e travée.

$$y_4^3 = +0{,}171.188.6\frac{x_3}{l} + 0{,}298.199.2\frac{x_3^2}{l^2} - 0{,}469.387.8\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moments fléchissants.

Mêmes relations qu'aux 1er et 2e cas. — 5 travées.

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{1}{l}\, m_{P_1}{}^1 = -0{,}240.096\ \frac{x_1}{l} + 0{,}375.150\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{1}{l}\, m_{P_2}{}^1 = +0{,}064.345.7\ \frac{x_1}{l} - 0{,}100.540\ \frac{x_1^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{1}{l}M_{P_1}^2 = -0{,}519.808\frac{x_2}{l}+0{,}900.360.3\frac{x_2^2}{l^2}-0{,}380.552.3\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{1}{l}m_{P_2}^2 = -0{,}128.691.6\frac{x_2}{l}-0{,}241.296.5\frac{x_2^2}{l^2}+0{,}369.988.1\frac{x_2^3}{l^3}$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{1}{l}m_{P_3}^2 = +0{,}034.573.8\frac{x_2}{l}+0{,}064.826\frac{x_2^2}{l^2}-0{,}099.399.8\frac{x_2^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 3e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{1}{l}M_{P_1}^3 = +0{,}139.256\frac{x_3}{l}-0{,}241.296.8\frac{x_3^2}{l^2}+0{,}102.040.8\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{1}{l}M_{P_2}^3 = -0{,}501.320\frac{x_3}{l}+0{,}868.667.5\frac{x_3^2}{l^2}-0{,}367.346.9\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{1}{l}m_{P_3}^3 = -0{,}133.973.7\frac{x_3}{l}-0{,}233.373.3\frac{x_3^2}{l^2}+0{,}367.347\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 4.

$$\frac{1}{l}m_{P_4}^3 = +0{,}037.214.9\frac{x_3}{l}+0{,}064.826\frac{x_3^2}{l^2}-0{,}102.040.9\frac{x_3^3}{l^3}.$$

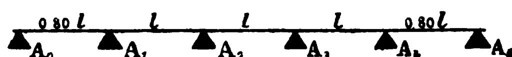
---

5 Travées.

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'in[illegible]

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE — SECTION DANS LA 1re TRAVÉE — $x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$	SECTION dans la 2e travée	MOBILE SUR LA 2[illegible] — SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2[illegible] — $x_2 < X_2$	[illegible]
	y_1^1	Y_1^1	y_2^1	Y_1^2	y_2^2	[illegible]
0,00	− 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000	− 0,000.000	− 0,000.000	[illegible]
0,05	− 0,077.447	+ 0,922.553	+ 0,015.163	− 0,029.734	− 0,033.205	[illegible]
0,10	− 0,154.543	+ 0,845.457	+ 0,029.968	− 0,054.197	− 0,071.554	[illegible]
0,15	− 0,230.935	+ 0,769.065	+ 0,044.061	− 0,073.747	− 0,114.487	[illegible]
0,20	− 0,306.273	+ 0,693.727	+ 0,057.083	− 0,088.739	− 0,161.439	[illegible]
0,25	− 0,380.203	+ 0,619.797	+ 0,068.678	− 0,099.532	− 0,211.847	[illegible]
0,30	− 0,452.375	+ 0,547.625	+ 0,078.489	− 0,106.481	− 0,265.150	[illegible]
0,35	− 0,522.436	+ 0,477.564	+ 0,086.159	− 0,109.943	− 0,320.783	[illegible]
0,380.297	»	»	»	»	»	[illegible]
0,380.417	»	»	»	**− 0,110.496**	»	[illegible]
0,40	− 0,590.036	+ 0,409.964	+ 0,091.332	− 0,110.276	− 0,378.184	[illegible]
0,45	− 0,654.822	+ 0,345.178	+ 0,093.651	− 0,107.835	− 0,436.790	[illegible]
0,461.880	»	»	**+ 0,093.744**	»	»	[illegible]
0,50	− 0,716.443	+ 0,283.557	+ 0,092.760	− 0,102.979	− 0,496.038	[illegible]
0,55	− 0,774.547	+ 0,225.453	+ 0,088.300	− 0,096.062	− 0,555.366	[illegible]
0,60	− 0,828.782	+ 0,171.218	+ 0,079.916	− 0,087.443	− 0,614.210	[illegible]
0,619.701	»	»	»	»	»	[illegible]
0,621.373	»	»	»	»	»	[illegible]
0,65	− 0,878.796	+ 0,121.204	+ 0,067.251	− 0,077.478	− 0,672,007	[illegible]
0,70	− 0,924.238	+ 0,075.762	+ 0,049.947	− 0,066.523	− 0,728.195	[illegible]
0,75	− 0,964.757	+ 0,035.243	+ 0,027.649	− 0,054.936	− 0,782.210	[illegible]
0,80	− 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	− 0,043.073	− 0,833.490	[illegible]
0,85	»	»	»	− 0,031.291	− 0,881.472	[illegible]
0,90	»	»	»	− 0,019.947	− 0,925.593	[illegible]
0,95	»	»	»	− 0,009.398	− 0,965.290	[illegible]
1,00	»	»	»	− 0,000.000	− 1,000.000	[illegible]

CHANT.



…fort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

…ION …s …avée	MOBILE SUR LA 3e TRAVÉE				
	SECTION dans la 1re travée	SECTION dans la 2e travée	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE $x_3 < X_3$	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE $x_3 > X_3$	SECTION dans la 4e travée
…	Y_1^3	Y_2^3	y_3^3	Y_3^3	y_4^3
…0.000	+ 0,000.000	− 0,000.000	− 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000
….870	+ 0,007.965	− 0,029.313	− 0,034.295	+ 0,965.705	+ 0,009.246
….918	+ 0,014.518	− 0,053.427	− 0,073.551	+ 0,926.449	+ 0,019.631
….793	+ 0,019.755	− 0,072.697	− 0,117.214	+ 0,882.786	+ 0,030.804
….143	+ 0,023.770	− 0,087.472	− 0,164.735	+ 0,835.265	+ 0,042.411
….615	+ 0,026.659	− 0,098.106	− 0,215.561	+ 0,784.439	+ 0,054.100
….857	+ 0,028.519	− 0,104.950	− 0,269.143	+ 0,730.857	+ 0,065.521
…4.518	+ 0,029.445	− 0,108.356	− 0,324.929	+ 0,675.071	+ 0,076.320
…	+ **0,029.592**	− **0,108.897**	»	»	»
…	»	»	»	»	»
…245	+ 0,029.532	− 0,108.677	− 0,382.367	+ 0,617.633	+ 0,086.146
…2.686	+ 0,028.876	− 0,106.265	− 0,440.908	+ 0,559.092	+ 0,094.647
…	»	»	»	»	»
….490	+ 0,027.574	− 0,101.471	− 0,500.000	+ 0,500.000	+ 0,101.471
….303	+ 0,025.719	− 0,094.647	− 0,559.092	+ 0,440.908	+ 0,106.265
….775	+ 0,023.409	− 0,086.146	− 0,617.633	+ 0,382.367	+ 0,108.677
…	»	»	»	»	+ **0,108.897**
…7.030	»	»	»	»	»
….553	+ 0,020.739	− 0,076.320	− 0,675.071	+ 0,324.929	+ 0,108.356
….285	+ 0,017.805	− 0,065.521	− 0,730.857	+ 0,269.143	+ 0,104.950
….620	+ 0,014.701	− 0,054.100	− 0,784.439	+ 0,215.561	+ 0,098.106
….204	+ 0,011.525	− 0,042.411	− 0,835.265	+ 0,164.735	+ 0,087.472
….686	+ 0,008.371	− 0,030.804	− 0,882.786	+ 0,117.214	+ 0,072.697
….714	+ 0,005.335	− 0,019.631	− 0,926.449	+ 0,073.551	+ 0,053.427
….936	+ 0,002.513	− 0,009.246	− 0,965.705	+ 0,034.795	+ 0,029.313
…000	+ 0,000.000	− 0,000.000	− 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS

5 Travées. $\alpha = 0{,}80$



Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$ $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{mp_1{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$ / $\frac{x_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.							
	0.10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,042.255	+ 0,034.511	+ 0,026.766	+ 0,019.021	+ 0,011.277	+ 0,003.532	— 0,004.213	— 0,011.958
0,10	+ **0,084.546**	+ 0,069.091	+ 0,053.637	+ 0,038.183	+ 0,022.729	+ 0,007.274	— 0,008.180	— 0,023.634
0,15	+ 0,076.907	+ 0,103.813	+ 0,080.720	+ 0,057.626	+ 0,034.533	+ 0,011.439	— 0,011.655	— 0,034.748
0,20	+ 0,069.373	+ **0,138.745**	+ 0,108.118	+ 0,077.491	+ 0,046.864	+ 0,016.236	— 0,014.391	— 0,045.018
0,25	+ 0,061.980	+ 0,123.959	+ 0,135.939	+ 0,097.919	+ 0,059.899	+ 0,021.878	— 0,016.142	— 0,054.162
0,30	+ 0,054.763	+ 0,109.525	+ **0,164.288**	+ 0,119.050	+ 0,073.813	+ 0,028.575	— 0,016.663	— 0,061.900
0,35	+ 0,047.756	+ 0,095.513	+ 0,143.269	+ 0,141.026	+ 0,088.782	+ 0,036.538	— 0,015.705	— 0,067.949
0,40	+ 0,040.996	+ 0,081.993	+ 0,122.989	+ **0,163.986**	+ 0,104.982	+ 0,045.978	— 0,013.025	— 0,072.029
0,45	+ 0,034.518	+ 0,069.036	+ 0,103.553	+ 0,138.071	+ 0,122.589	+ 0,057.107	— 0,008.375	— 0,073.858
0,461.880	»	»	»	»	»	»	»	— **0,073.930**
0,50	+ 0,028.356	+ 0,056.711	+ 0,085.067	+ 0,113.423	+ **0,141.779**	+ 0,070.134	— 0,001.510	— 0,073.154
0,55	+ 0,022.545	+ 0,045.091	+ 0,067.636	+ 0,090.181	+ 0,112.726	+ 0,085.272	+ 0,007.817	— 0,060.638
0,60	+ 0,017.122	+ 0,034.244	+ 0,051.365	+ 0,068.487	+ 0,085.600	+ **0,102.731**	+ 0,019.853	— [illegible]
0,65	+ 0,012.120	+ 0,024.241	+ 0,036.361	+ 0,048.482	+ 0,060.602	+ 0,072.722	+ 0,034.863	— [illegible]
0,70	+ 0,007.570	+ 0,015.162	+ 0,022.720	+ 0,030.305	+ 0,037.881	+ 0,045.457	+ [illegible]	— [illegible]
0,75	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	+ [illegible]	— [illegible]

5 Travées. $\alpha = 0,80$

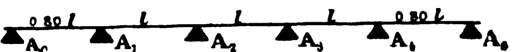


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}^2}{l}$, $\frac{m_2^2}{l}$, $\frac{M_2^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

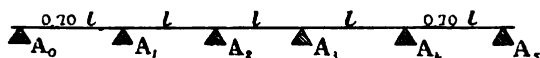
	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE										
$\frac{X_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_2}{l}$											
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,023.787	+0,022.892	+0,019.572	+0,016.251	+0,012.931	+0,009.610	+0,006.290	+0,002.969	−0,000.351	−0,003.672	−0,006.992
0,10	−0,043.358	+**0,049.487**	+0,042.332	+0,035.176	+0,028.021	+0,020.865	+0,013.710	+0,006.555	−0,000.601	−0,007.756	−0,014.912
0,15	−0,058.998	+0,029.554	+0,068.105	+0,056.656	+0,045.208	+0,033.759	+0,022.310	+0,010.862	−0,000.587	−0,012.036	−0,023.485
0,20	−0,070.991	+0,012.865	+**0,096.721**	+0,080.577	+0,064.433	+0,048.289	+0,032.145	+0,016.002	−0,000.142	−0,016.286	−0,032.430
0,25	−0,079.626	−0,000.810	+0,078.015	+0,106.820	+0,085.636	+0,064.451	+0,043.266	+0,022.082	+0,000.897	−0,020.288	−0,041.473
0,30	−0,085.185	−0,011.700	+0,061.785	+**0,135.270**	+0,108.755	+0,082.240	+0,055.725	+0,029.210	+0,002.695	−0,023.820	−0,050.335
0,35	−0,087.954	−0,020.033	+0,047.889	+0,115.811	+0,133.732	+0,101.654	+0,069.576	+0,037.498	+0,005.419	−0,026.659	−0,058.737
0,380.418	−**0,088.397**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,088.221	−0,026.039	+0,036.142	+0,098.324	+**0,160.506**	+0,122.687	+0,084.869	+0,047.050	+0,009.232	−0,028.586	−0,066.405
0,45	−0,086.268	−0,029.947	+0,026.374	+0,082.695	+0,139.016	+0,145.337	+0,101.658	+0,057.979	+0,014.300	−0,029.379	−0,073.058
0,50	−0,082.383	−0,031.987	+0,018.409	+0,068.805	+0,119.202	+**0,169.598**	+0,119.994	+0,070.390	+0,020.786	−0,028.817	−0,078.421
0,55	−0,076.850	−0,032.386	+0,012.077	+0,056.541	+0,101.004	+0,145.467	+0,139.931	+0,084.394	+0,028.858	−0,026.679	−0,082.216
0,60	−0,069.954	−0,031.375	+0,007.204	+0,045.783	+0,084.362	+0,122.941	+**0,161.520**	+0,100.099	+0,038.678	−0,022.743	−0,084.164
0,621.373	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	−**0,084.365**
0,65	−0,061.982	−0,029.183	+0,003.616	+0,036.416	+0,069.215	+0,102.014	+0,134.813	+0,117.613	+0,050.412	−0,016.789	−0,083.989
0,70	−0,053.218	−0,026.038	+0,001.143	+0,028.323	+0,055.504	+0,082.684	+0,109.865	+**0,137.045**	+0,064.226	−0,008.594	−0,081.413
0,75	−0,043.949	−0,022.170	−0,000.391	+0,021.388	+0,043.167	+0,064.946	+0,086.725	+0,108.504	+0,080.283	+0,002.062	−0,076.159
0,80	−0,034.458	−0,017.807	−0,001.156	+0,015.495	+0,032.146	+0,048.797	+0,065.448	+0,082.099	+**0,098.750**	+0,015.401	−0,067.948
0,85	−0,025.033	−0,013.180	−0,001.327	+0,010.526	+0,022.378	+0,034.231	+0,046.084	+0,057.937	+0,069.790	+0,031.642	−0,056.505
0,90	−0,015.958	−0,008.517	−0,001.076	+0,006.365	+0,013.805	+0,021.246	+0,028.687	+0,036.127	+0,043.568	+**0,051.009**	−0,041.551
0,95	−0,007.518	−0,004.047	−0,000.576	+0,002.895	+0,006.366	+0,009.837	+0,013.308	+0,016.779	+0,020.250	+0,023.721	−0,022.808
1,00	−0,000.000	−0,000.000	−0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	−0,000.000

5 Travées. $\alpha = 0^m,80$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_2}{}^3}{l}$, $\frac{m_3{}^3}{l}$, $\frac{M_3{}^3}{l}$ et $\frac{m_{P_3}{}^3}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_3}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_3}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_3}{l}$	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 3e TRAVÉE.										
$\frac{x_1}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	—0,022.941	+0,023.630	+0,020.200	+0,016.771	+0,013.341	+0,009.912	+0,006.482	+0,003.053	—0,000.377	—0,003.806	—0,007.236
0,10	—0,041.813	**+0,050.832**	+0,043.477	+0,036.122	+0,028.767	+0,021.412	+0,014.057	+0,006.702	—0,000.653	—0,008.008	—0,015.363
0,15	—0,056.893	+0,031.386	+0,069.664	+0,057.943	+0,046.221	+0,034.500	+0,022.778	+0,011.057	—0,000.664	—0,012.386	—0,024.107
0,20	—0,068.456	+0,015.071	**+0,098.597**	+0,082.124	+0,065.650	+0,049.177	+0,032.703	+0,016.230	—0,000.244	—0,016.718	—0,033.191
0,25	—0,076.779	+0,001.665	+0,080.109	+0,108.553	+0,086.997	+0,065.441	+0,043.885	+0,022.329	+0,000.773	—0,020.783	—0,042.339
0,30	—0,082.135	—0,009.049	+0,064.037	**+0,137.122**	+0,110.208	+0,083.294	+0,056.380	+0,029.466	+0,002.552	—0,024.363	—0,051.277
0,35	—0,084.800	—0,017.293	+0,050.214	+0,117.721	+0,135.228	+0,102.736	+0,070.243	+0,037.750	+0,005.257	—0,027.236	—0,059.729
0.380.298	**—0,085.224**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	—0,085.051	—0,023.288	+0,038.475	+0,100.239	**+0,162.002**	+0,123.765	+0,085.528	+0,047.291	+0,009.055	—0,029.182	—0,067.419
0,45	—0,083.164	—0,027.255	+0,028.654	+0,084.563	+0,140.473	+0,146.382	+0,102.291	+0,058.201	+0,014.110	—0,029.981	—0,074.072
0,50	—0,079.412	—0,029.412	+0,020.588	+0,070.588	+0,120.588	**+0,170.588**	+0,120.588	+0,070.588	+0,020.588	—0,029.412	—0,079.412
0,55	—0,074.072	—0,029.981	+0,014.110	+0,058.201	+0,102.291	+0,146.382	+0,140.473	+0,084.563	+0,028.654	—0,027.255	—0,083.164
0,60	—0,067.419	—0,029.182	+0,009.055	+0,047.291	+0,085.528	+0,123.765	**+0,162.002**	+0,100.239	+0,038.475	—0,023.288	—0,085.051
0,619.702	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**—0,085.224**
0,65	—0,059.729	—0,027.236	+0,005.257	+0,037.750	+0,070.243	+0,102.736	+0,135.228	+0,117.721	+0,050.214	—0,017.293	—0,084.800
0,70	—0,051.277	—0,024.363	+0,002.552	+0,029.466	+0,056.380	+0,083.294	+0,110.208	**+0,137.122**	+0,064.037	—0,009.049	—0,082.135
0,75	—0,042.339	—0,020.783	+0,000.773	+0,022.329	+0,043.885	+0,065.441	+0,086.997	+0,108.553	+0,080.109	+0,001.665	—0,076.779
0,80	—0,033.191	—0,016.718	—0,000.244	+0,016.230	+0,032.703	+0,049.177	+0,065.650	+0,082.124	**+0,098.597**	+0,015.071	—0,068.456
0,85	—0,024.107	—0,012.386	—0,000.664	+0,011.057	+0,022.778	+0,034.500	+0,046.221	+0,057.943	+0,069.664	+0,031.386	—0,056.893
0,90	—0,015.363	—0,008.008	—0,000.653	+0,006.702	+0,014.057	+0,021.412	+0,028.767	+0,036.122	+0,043.477	**+0,050.832**	—0,041.813
0,95	—0,007.236	—0,003.806	—0,000.377	+0,003.053	+0,006.482	+0,009.912	+0,013.341	+0,016.771	+0,020.200	+0,023.630	—0,022.941
1,00	—0,000.000	—0,000.000	—0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	[illegible]	[illegible]	+0,000.000	+0,000.000	—0,000.000

4e Cas.



5 Travées. $\alpha = 0,70$

Foyers.

Désignation des foyers	Distances a l'appui le plus voisin — à gauche	Distances a l'appui le plus voisin — à droite
F_2^1	$0,572.126.8l$	$0,127.873.2l$
F_1^2	$0,227.273l$	$0,772.727l$
F_2^2	$0,788.591l$	$0,211.409l$
F_1^3	$0,212.500l$	$0,787.500l$
F_2^3	$0,787.500l$	$0,212.500l$
F_1^4	$0,211.409l$	$0,788.591l$
F_2^4	$0,772.727l$	$0,227.273l$
F_1^5	$0,127.873.2l$	$0,572.126.8l$

Points d'influence.

Désignation des points d'influence	Distances a l'appui le plus voisin — à gauche	Distances a l'appui le plus voisin — à droite
I_2^1	$0,404.145.1l$	$0,295.854.9l$
I_1^2	$0,380.302.9$	$0,619.697.1l$
I_2^2	$0,624.404.8l$	$0,375.595.2l$
I_1^3	$0,380.081.8l$	$0,619.918.2l$
I_2^3	$0,619.918.1l$	$0,380.081l$
I_1^4	$0,375.595.2l$	$0,624.404.8l$
I_2^4	$0,619.697.1l$	$0,380.302.9l$
I_1^5	$0,295.854.9l$	$0,404.145.1l$

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES.

Efforts tranchants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.
$T_1^1 = + 0,310.887\ p_1 l - p_1 X_1.$

Section dans la 2e travée.
$T_2^1 = + 0,034.719\ p_1 l.$

Section dans la 3e travée.
$T_3^1 = - 0,009.321\ p_1 l.$

Section dans la 4e travée.
$T_4^1 = + 0,002.563\ p_1 l.$

Section dans la 5e travée.
$T_5^1 = - 0,000.832\ p_1 l.$

2ᵉ travée seule chargée

Section dans la 1ʳᵉ travée.
$T_1^2 = -\ 0{,}083.463\ p_2 l.$
Section dans la 2ᵉ travée.
$T_2^2 = +\ 0{,}507.064\ p_2 l - p_2 X_2.$
Section dans la 3ᵉ travée.
$T_3^2 = +\ 0{,}065.219\ p_2 l.$
Section dans la 4ᵉ travée.
$T_4^2 = -\ 0{,}017.935\ p_2 l.$
Section dans la 5ᵉ travée.
$T_5^2 = +\ 0{,}005.823\ p_2 l.$

3ᵉ travée seule chargée

Section dans la 1ʳᵉ travée.
$T_1^3 = +\ 0{,}022.321\ p_3 l.$
Section dans la 2ᵉ travée.
$T_2^3 = -\ 0{,}068.750\ p_3 l,$
Section dans la 3ᵉ travée.
$T_3^3 = +\ 0{,}500\ 000\ p_3 l - p_3 X_3.$
Section dans la 4ᵉ travée.
$T_4^3 = +\ 0{,}068.750\ p_3 l.$
Section dans la 5ᵉ travée.
$T_5^3 = -\ 0{,}022.321\ p_3 l.$

4ᵉ travée seule chargée

Section dans la 1ʳᵉ travée.
$T_1^4 = -\ 0{,}005.823\ p_4 l.$
Section dans la 2ᵉ travée.
$T_2^4 = +\ 0{,}017.935\ p_4 l.$
Section dans la 3ᵉ travée.
$T_3^4 = -\ 0{,}065.219\ p_4 l.$
Section dans la 4ᵉ travée.
$T_4^4 = +\ 0{,}492.936\ p_4 l - p_4 X_4.$
Section dans la 5ᵉ travée.
$T_5^4 = +\ 0{,}083.463\ p_4 l.$

5ᵉ travée seule chargée

Section dans la 1ʳᵉ travée
$T_1^5 = +\ 0{,}000.832\ p_5 l.$
Section dans la 2ᵉ travée.
$T_2^5 = -\ 0{,}002.563\ p_5 l.$
Section dans la 3ᵉ travée.
$T_3^5 = +\ 0{,}009.321\ p_5 l.$
Section dans la 4ᵉ travée.
$T_4^5 = -\ 0{,}034.719\ p_5 l.$
Section dans la 5ᵉ travée.
$T_5^5 = +\ 0{,}389.113\ p_5 l - p_5 X_5.$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$T_1 = + 0{,}244.754\, pl - pX_1.$

Section dans la 2e travée.

$T_2 = + 0{,}488.405\, pl - pX_2.$

Section dans la 3e travée.

$T_3 = + 0{,}500.000\, pl - pX_3.$

Section dans la 4e travée.

$T_4 = + 0{,}511.595\, pl - pX_4.$

Section dans la 5e travée.

$T_5 = + 0{,}455.246\, pl - pX_5.$

Moments fléchissants.

1re travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^1 = + 0{,}310.887\, p_1 l X_1 - p_1 \frac{X_1^2}{2}.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^1 = - 0{,}027.379\, p_1 l^2 + 0{,}034.719\, p_1 l X_2.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^1 = + 0{,}007.340\, p_1 l^2 - 0{,}009.321\, p_1 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^1 = - 0{,}001.981\, p_1 l^2 + 0{,}002.563\, p_1 l X_4.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^1 = + 0{,}000.583\, p_1 l^2 - 0{,}000.832\, p_1 l X_5.$

2e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$\mu_1^2 = - 0{,}083.463\, p_2 l X_1.$

Section dans la 2e travée.

$\mu_2^2 = - 0{,}058.424\, p_2 l^2 + 0{,}507.064\, p_2 l X_2 - p_2 \frac{X_2^2}{2}.$

Section dans la 3e travée.

$\mu_3^2 = - 0{,}051.360\, p_2 l^2 + 0{,}065.219\, p_2 l X_3.$

Section dans la 4e travée.

$\mu_4^2 = + 0{,}013.859\, p_2 l^2 - 0{,}017.935\, p_2 l X_4.$

Section dans la 5e travée.

$\mu_5^2 = - 0{,}004.076\, p_2 l^2 + 0{,}005.823\, p_2 l X_5.$

3e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^3 = + 0{,}022.321\ p_3 l X^1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^3 = + 0{,}015.625\ p_3 l^2 - 0{,}068.750\ p_3 l X_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^3 = - 0{,}053.125\ p_3 l^2 + 0{,}500.000\ p_3 l X_3 - p_3 \frac{X_3^2}{2}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4^3 = - 0{,}053.125\ p_3 l^2 + 0{,}068.750\ p_3 l X_4.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5^3 = + 0{,}015.625\ p_3 l^2 - 0{,}022.321\ p_3 l X_5.$$

4e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^4 = - 0{,}005.823\ p_4 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^4 = - 0{,}004.076\ p_4 l^2 + 0{,}017.935\ p_4 l X_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^4 = + 0{,}013.859\ p_4 l^2 - 0{,}065.219\ p_4 l X_3.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4^4 = - 0{,}051.360\ p_4 l^2 + 0{,}492.936\ p_4 l X_4 - p_4 \frac{X_4^2}{2}.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5^4 = - 0{,}058.424\ p_4 l^2 + 0{,}083.463\ p_4 l X_5.$$

5e travée seule chargée

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1^5 = + 0{,}000.832\ p_5 l X_1.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2^5 = + 0{,}000.583\ p_5 l^2 - 0{,}002.563\ p_5 l X_2.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3^5 = - 0{,}001.981\ p_5 l^2 + 0{,}009.321\ p_5 l X_3.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4^5 = + 0{,}007.340\ p_5 l^2 - 0{,}034.719\ p_5 l X_4.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5^5 = - 0{,}027.379\ p_5 l^2 + 0{,}389.113\ p_5 l X_5 - p_5 \frac{X_5^2}{2}.$$

Toutes les travées également chargées

Section dans la 1re travée.

$$\mu_1 = + 0,244.754\, plX_1 - p\,\frac{X_1^2}{2}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\mu_2 = - 0,073.671\, pl^2 + 0,488.405\, plX_2 - p\,\frac{X_2^2}{2}.$$

Section dans la 3e travée.

$$\mu_3 = - 0,085.267\, pl^2 + 0,500.000\, plX_3 - p\,\frac{X_3^2}{2}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\mu_4 = - 0,085.267\, pl^2 + 0,511.595\, plX_4 - p\,\frac{X_4^2}{2}.$$

Section dans la 5e travée.

$$\mu_5 = - 0,073.671\, pl^2 + 0,455.246\, plX_5 - p\,\frac{X_5^2}{2}.$$

Moments fléchissants sur piles.

1re travée seule chargée	Moment sur pile n° 1.	$\mu_{P_1}^{1} = - 0,027.379\, p_1 l^2.$
	Moment sur pile n° 2.	$\mu_{P_2}^{1} = + 0,007.340\, p_1 l^2.$
	Moment sur pile n° 3.	$\mu_{P_3}^{1} = - 0,001.981\, p_1 l^2.$
	Moment sur pile n° 4.	$\mu_{P_4}^{1} = + 0,000.583\, p_1 l^2.$
2e travée seule chargée	Moment sur pile n° 1.	$\mu_{P_1}^{2} = - 0,058.424\, p_2 l^2.$
	Moment sur pile n° 2.	$\mu_{P_2}^{2} = - 0,051.360\, p_2 l^2.$
	Moment sur pile n° 3.	$\mu_{P_3}^{2} = + 0,013.859\, p_2 l^2.$
	Moment sur pile n° 4.	$\mu_{P_4}^{2} = - 0,004.076\, p_2 l^2.$
3e travée seule chargée	Moment sur pile n° 1.	$\mu_{P_1}^{3} = + 0,015.625\, p_3 l^2.$
	Moment sur pile n° 2.	$\mu_{P_2}^{3} = - 0,053.125\, p_3 l^2.$
	Moment sur pile n° 3.	$\mu_{P_3}^{3} = - 0,053.125\, p_3 l^2.$
	Moment sur pile n° 4.	$\mu_{P_4}^{3} = + 0,015.625\, p_3 l^2.$
4e travée seule chargée	Moment sur pile n° 1.	$\mu_{P_1}^{4} = - 0,004.076\, p_4 l^2.$
	Moment sur pile n° 2.	$\mu_{P_2}^{4} = + 0,013.859\, p_4 l^2.$
	Moment sur pile n° 3.	$\mu_{P_3}^{4} = - 0,051.360\, p_4 l^2.$
	Moment sur pile n° 4.	$\mu_{P_4}^{4} = - 0.058.424\, p_4 l^2.$
5e travée seule chargée	Moment sur pile n° 1.	$\mu_{P_1}^{5} = + 0,000.583\, p_5 l^2.$
	Moment sur pile n° 2.	$\mu_{P_2}^{5} = - 0,001.981\, p_5 l^2.$
	Moment sur pile n° 3.	$\mu_{P_3}^{5} = + 0,007.340\, p_5 l^2.$
	Moment sur pile n° 4.	$\mu_{P_4}^{5} = - 0,027.379\, p_5 l^2.$

Mobile sur la 3e travée

Section dans la 1re travée.

$$\frac{1}{l} M_1{}^3 = Y_1{}^3 \frac{X_1}{l}.$$

Section dans la 2e travée.

$$\frac{1}{l} M_2{}^3 = \frac{1}{l} Mp_1{}^3 + Y_2{}^3 \frac{X_2}{l}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 < X_3$.

$$\frac{1}{l} m_3{}^3 = \frac{1}{l} Mp_2{}^3 + y_3{}^3 \frac{X_3}{} + \frac{x_3}{l}.$$

Section dans la 3e travée $x_3 > X_3$.

$$\frac{1}{l} M_3{}^3 = \frac{1}{l} Mp_2{}^3 + Y_3{}^3 \frac{X_3}{l}.$$

Section dans la 4e travée.

$$\frac{1}{l} m_4{}^3 = \frac{1}{l} mp_3{}^3 + y_4{}^3 \frac{X_4}{l}.$$

Moments fléchissants sur piles.

Mobile sur la 1re travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{1}{l} mp_1{}^1 = -0,223.505 \frac{x_1}{l} + 0,456.132.6 \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{1}{l} mp_2{}^1 = + 0,059.918.4 \frac{x_1}{l} - 0,122.282.4 \frac{x_1{}^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 2e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{1}{l} Mp_1{}^2 = -0,552.989 \frac{x_2}{l} + 0,957.880.2 \frac{x_2{}^2}{l^2} + 0,404.891.2 \frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{1}{l} mp_2{}^2 = -0,119.836.7 \frac{x_2}{l} - 0,256.793.6 \frac{x_2{}^2}{l^2} + 0,376.630.3 \frac{x_2{}^3}{l^3}$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{1}{l} mp_3{}^2 = +0,032.337 \frac{x_2}{l} + 0,069.293 \frac{x_2{}^2}{l^2} - 0,101.630 \frac{x_2{}^3}{l^3}.$$

Mobile sur la 3e travée

Moment sur pile n° 1.

$$\frac{1}{l}M_{P_1}{}^3 = +0,148.098\frac{x_3}{l} - 0,256.794\frac{x_3^2}{l^2} + 0,108.696\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 2.

$$\frac{1}{l}M_{P_2}{}^3 = -0,503.533\frac{x_3}{l} + 0,873.098\frac{x_3^2}{l^2} - 0,369.565\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 3.

$$\frac{1}{l}m_{P_3}{}^3 = -0,133.967.3\frac{x_3}{l} - 0,235.598\frac{x_3^2}{l^2} + 0,369.565,3\frac{x_3^3}{l^3}.$$

Moment sur pile n° 4.

$$\frac{1}{l}m_{P_4}{}^3 = -0,039.402\frac{x_3}{l} + 0,069.294\frac{x_3^2}{l^2} - 0,108.696\frac{x_3^3}{l^3}.$$

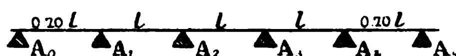
---

5 Travées.

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'in

$\frac{x}{l}$	MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE			MOBILE SUR LA 2e		
	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE		SECTION dans la 2e travée	SECTION dans la 1re travée	SECTION DANS LA 2e	
	$x_1 < X_1$	$x_1 > X_1$			$x_2 < X_2$	$x_2 >$
	$y_1{}^1$	$Y_1{}^1$	$y_2{}^1$	$Y_1{}^2$	$y_2{}^2$	Y
0,00	— 0,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,0
0,05	— 0,087.312	+ 0,912.688	+ 0,014.099	— 0,036.151	— 0,031.281	+ 0,
0,10	— 0,174.135	+ 0,825.865	+ 0,027.764	— 0,065.893	— 0,068.050	+ 0,
0,15	— 0,259.980	+ 0,740.020	+ 0,040.561	— 0,089.661	— 0,109.719	+ 0,
0,20	— 0,344.360	+ 0,655.640	+ 0,052.057	— 0,107.888	0,155.704	+ 0,
0,25	— 0,426.784	+ 0,573.216	+ 0,061.818	— 0,121.009	— 0,205.417	+ 0,
0,30	— 0,506.766	+ 0,493.234	+ 0,069.410	— 0,129.457	— 0,258.274	+ 0,
0,35	— 0,583.814	+ 0,416.186	+ 0,074.399	— 0,133.665	— 0,313.686	+ 0.
0,380.082	»	»	»	»	»	
0,380.303	»	»	»	**— 0,134.336**	»	
0,40	— 0,657.442	+ 0,342.558	+ 0,076.351	— 0,134.069	— 0,371.069	+ 0.
0,404.145	»	»	**+ 0,076.358**	»	»	
0,45	— 0,727.160	— 0,272.840	+ 0,074.832	— 0,131.100	— 0,429.836	+ 0,
0,50	— 0,792.480	+ 0,207.520	+ 0,069.410	— 0,125.194	— 0,489.402	+ 0,
0,55	— 0,852.912	+ 0,147.088	+ 0,059.649	— 0,116.785	— 0,549.179	+ 0,
0,60	— 0,907.969	+ 0,092.031	+ 0,045.116	— 0,106.305	— 0,608.582	+ 0,
0,619.918	»	»	»	»	»	
0,624,404	»	»	»	»	»	
0,65	— 0,957.161	+ 0,042.839	+ 0,025.378	— 0,094.188	— 0,667.025	+ 0,
0,70	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000	— 0,080.870	— 0,723.921	+ 0,
0,75	»	»	»	— 0,066.782	— 0,778 685	+ 0,
0,80	»	»	»	— 0,052.360	— 0,830.730	+ 0,
0,85	»	»	»	— 0,038.037	— 0,879.470	+ 0,
0,90	»	»	»	— 0,024.247	— 0,924.319	+ 0,
0,95	»	»	»	— 0,011.423	— 0,964.691	+ 0,
1,000.000	»	»	»	— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,

…CHANT.



…fort tranchant pour des valeurs de $\frac{x}{l}$ variant de 0,05.

…ION …s …avée	MOBILE SUR LA 3e TRAVÉE				
	SECTION dans la 1re travée	SECTION dans la 2e travée	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE		SECTION dans la 4e travée
			$x_3 < X_3$	$x_3 > X_3$	
…	Y_1^3	Y_2^3	y_3^3	Y_3^3	y_4^3
….000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 0,000.000	+ 1,000.000	+ 0,000.000
….364	+ 0,009.681	— 0,029.817	— 0,034.201	+ 0,965.799	+ 0,009.371
….000	+ 0,017.644	— 0,054.342	— 0,073.391	+ 0,926.609	+ 0,019.908
….549	+ 0,024.005	— 0,073.936	— 0,117.016	+ 0,882.984	+ 0,031.251
….652	+ 0,028.882	— 0,088.957	— 0,164.522	+ 0,835.478	+ 0,043.043
….951	+ 0,032.390	— 0,099.762	— 0,215.353	+ 0,784.647	+ 0,054.925
….087	+ 0,034.647	— 0,106.712	— 0,268.957	+ 0,731.043	+ 0,066.538
….701	+ 0,035.768	— 0,110.164	— 0,324.777	+ 0,675.223	+ 0,077.523
	+ 0,035.944	**— 0,110.796**	»	»	»
	»	»	»	»	»
….434	+ 0,035.870	— 0,110.478	— 0,382.261	+ 0,617.739	+ 0,087.522
	»	»	»	»	»
….929	+ 0,035.069	— 0,108.012	— 0,440.853	+ 0,559.147	+ 0,096.175
….826	+ 0,033.482	— 0,103.125	— 0,500.000	+ 0,500.000	+ 0,103.125
….766	+ 0,031.226	— 0,096.175	— 0,559.147	+ 0,440.853	+ 0,108.012
….391	+ 0,028.416	— 0,087.522	— 0,617.739	+ 0,382.261	+ 0,110.478
	»	»	»	»	**+ 0,110.706**
….724	»	»	»	»	»
….342	+ 0,025.170	— 0,077.523	— 0,675.223	+ 0,324.777	+ 0,110.164
….351	+ 0,021.603	— 0,066.538	— 0,731.043	+ 0,268.957	+ 0,106.712
….768	+ 0,017.833	— 0,054.925	— 0,784.647	+ 0,215.353	+ 0,099.762
….565	+ 0,013.975	— 0,043.043	— 0,835.478	+ 0,164.522	+ 0,088.957
….233	+ 0,010.147	— 0,031.251	— 0,882.984	+ 0,117.016	+ 0,073.936
….435	+ 0,006.464	— 0,019.908	— 0,926.609	+ 0,073.391	+ 0,054.342
….810	+ 0,003.043	— 0,009.371	— 0,965.799	+ 0,034.201	+ 0,029.817
….000	+ 0,000.000	— 0,000.000	— 1,000.000	+ 0,000.000	+ 0,000.000

5 Travées. $\alpha = 0,70$

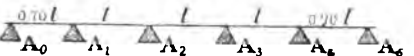


Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{m_1{}^1}{l}$; $\frac{M_1{}^1}{l}$ et $\frac{m_{P_1}{}^1}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_1}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_1}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_1}{l}$	SECTION DANS LA 1re TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 1re TRAVÉE.						
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
$\frac{x_1}{l}$							
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	+ 0,041.269	+ 0,032.536	+ 0,023.806	+ 0,015.075	+ 0,006.344	— 0,002.387	— 0,011.118
0,10	+ **0,082.587**	+ 0,065.173	+ 0,047.560	+ 0,030.346	+ 0,012.933	— 0,004.481	— 0,021.895
0,15	+ 0,074.002	+ 0,098.004	+ 0,072.006	+ 0,046.008	+ 0,020.010	— 0,005.988	— 0,031.986
0,20	+ 0,065.564	+ **0,131.128**	+ 0,096.692	+ 0,062.256	+ 0,027.820	— 0,006.616	— 0,041.052
0,25	+ 0,057.322	+ 0,114.643	+ 0,121.965	+ 0,079.286	+ 0,036.608	— 0,006.070	— 0,048.749
0,30	+ 0,049.323	+ 0,098.647	+ **0,147.970**	+ 0,097.294	+ 0,046.617	— 0,004.060	— 0,054.786
0,35	+ 0,041.619	+ 0,083.237	+ 0,124.856	+ 0,116.474	+ 0,058.093	— 0,000.288	— 0,058.670
0,40	+ 0,034.256	+ 0,068.512	+ 0,102.767	+ **0,137.023**	+ 0,071.279	+ 0,005.535	— 0,060.209
0,404.145	»	»	»	»	»	»	— **0,060.220**
0,45	+ 0,027.284	+ 0,054.568	+ 0,081.852	+ 0,109.136	+ 0,086.420	+ 0,013.704	— 0,059.012
0,50	+ 0,020.752	+ 0,041.504	+ 0,062.256	+ 0,083.008	+ **0,103.780**	+ 0,024.512	— 0,054.736
0,55	+ 0,014.709	+ 0,029.418	+ 0,044.126	+ 0,058.835	+ 0,078.542	+ 0,038.253	— 0,047.038
0,60	+ 0,009.203	+ 0,018.406	+ 0,027.609	+ 0,036.812	+ 0,046.016	+ [illegible]	— [illegible]

5 Travées. $\alpha = 0,70$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_1}{}^2}{l}$, $\frac{m_2{}^2}{l}$, $\frac{M_2{}^2}{l}$ et $\frac{m_{P_2}{}^2}{l}$ pour des valeurs de $\frac{x_2}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_2}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_2}{l}$	SECTION DANS LA 2e TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 2e TRAVÉE.										
$\frac{x_2}{l}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0,00	−0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,025.306	+0,021.566	+0,018.438	+0,015.310	+0,012.182	+0,009.054	+0,005.926	+0,002.798	−0,000.331	−0,003.459	−0,006.587
0,10	−0,046.125	**+0,047.070**	+0,040.265	+0,033.460	+0,026.655	+0,019.850	+0,013.045	+0,006.240	−0,000.565	−0,007.370	−0,014.175
0,15	−0,062.763	+0,026.265	+0,065.294	+0,054.322	+0,043.350	+0,032.378	+0,021.406	+0,010.434	−0,000.538	−0,011.510	−0,022.482
0,20	−0,075.522	+0,008.908	**+0,093.338**	+0,077.767	+0,062.197	+0,046.626	+0,031.056	+0,015.486	−0,000.085	−0,015.655	−0,031.226
0,25	−0,084.706	−0,005.248	+0,074.210	+0,103.669	+0,083.127	+0,062.585	+0,042.044	+0,021.502	+0,000.960	−0,019.582	−0,040.123
0,30	−0,090.620	−0,016.447	+0,057.725	**+0,131.898**	+0,106.071	+0,080.243	+0,054.416	+0,028.588	+0,002.761	−0,023.067	−0,048.894
0,35	−0,093.566	−0,024.934	+0,043.697	+0,112.329	+0,130.960	+0,099.592	+0,068.223	+0,036.854	+0,005.486	−0,025.883	−0,057.252
0,380.303	**−0,094.036**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,093.848	−0,030.955	+0,031.938	+0,094.831	**+0,157.724**	+0,120.617	+0,083.510	+0,046.403	+0,009.297	−0,027.810	−0,064.917
0,45	−0,091.770	−0,034.754	+0,022.263	+0,079.279	+0,136.296	+0,143.312	+0,100.328	+0,057.345	+0,014.361	−0,028.622	−0,071.606
0,50	−0,087.636	−0,036.576	+0,014.484	+0,065.544	+0,116.603	**+0,167.663**	+0,118.723	+0,069.783	+0,020.843	−0,028.098	−0,077.038
0,55	−0,081.750	−0,036.667	+0,008.415	+0,053.497	+0,098.579	+0,143.661	+0,138.743	+0,083.825	+0,028.907	−0,026.011	−0,080.929
0,60	−0,074.414	−0,035.272	+0,003.870	+0,043.012	+0,082.154	+0,121.296	**+0,160.437**	+0,099.579	+0,038.721	−0,022.137	−0,082.996
0,624.405	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,083.257**
0,65	−0,065.932	−0,032.634	+0,000.663	+0,033.961	+0,067.258	+0,100.556	+0,133.853	+0,117.151	+0,050.448	−0,016.254	−0,082.957
0,70	−0,056.609	−0,029.001	−0,001.393	+0,026.215	+0,053.823	+0,081.431	+0,109.038	**+0,136.646**	+0,064.254	−0,008.138	−0,080.530
0,75	−0,046.747	−0,024.616	−0,002.484	+0,019.647	+0,041.779	+0,063.910	+0,086.042	+0,108.173	+0,080.305	+0,002.436	−0,075.432
0,80	−0,036.652	−0,019.725	−0,002.798	+0,014.129	+0,031.056	+0,047.983	+0,064.910	+0,081.837	**+0,098.764**	+0,015.691	−0,067.382
0,85	−0,026.626	−0,014.573	−0,002.520	+0,009.533	+0,021.586	+0,033.639	+0,045.692	+0,057.745	+0,069.798	+0,031.851	−0,056.096
0,90	−0,016.973	−0,009.405	−0,001.837	+0,005.731	+0,013.300	+0,020.868	+0,028.436	+0,036.004	+0,043.572	**+0,051.140**	−0,041.292
0,95	−0,007.996	−0,004.465	−0,000.934	+0,002.597	+0,006.128	+0,009.658	+0,013.189	+0,016.720	+0,020.251	+0,023.782	−0,022.687
1,00	−0,000.000	−0,000.000	−0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	+0,000.000	−0,000.000

MOMENTS FLÉCHISSANTS.

5 Travées. $\alpha = 0,70$

Table faisant connaître les ordonnées des lignes d'influence des moments fléchissants $\frac{M_{P_2}{}^3}{l}$, $\frac{m_3{}^3}{l}$, $\frac{M_3{}^3}{l}$ et $\frac{m_{P_3}{}^3}{l}$

pour des valeurs de $\frac{x_3}{l}$ variant de 0,05 et des valeurs de $\frac{X_3}{l}$ variant de 0,10.

$\frac{X_3}{l}$	SECTION DANS LA 3e TRAVÉE ET MOBILE SUR LA 3e TRAVÉE.										
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\frac{x_3}{l}$											
0,00	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000	0,000.000
0,05	−0,023.040	+0,023.540	+0,020.120	+0,016.700	+0,013.279	+0,009.859	+0,006.440	+0,003.019	−0,000.401	−0,003.821	−0,007.241
0,10	−0,041.991	**+0,050.670**	+0,043.331	+0,035.992	+0,028.652	+0,021.313	+0,013.973	+0,006.634	−0,000.705	−0,008.044	−0,015.383
0,15	−0,057.133	+0,031.166	+0,069.464	+0,057.763	+0,046.061	+0,034.360	+0,022.658	+0,010.957	−0,000.745	−0,012.447	−0,024.148
0,20	−0,068.740	+0,014.808	**+0,098.356**	+0,081.904	+0,065.452	+0,049.000	+0,032.548	+0,016.096	−0,000.356	−0,016.808	−0,033.261
0,25	−0,077.089	+0,001.376	+0,079.840	+0,108.305	+0,086.770	+0,065.235	+0,043.699	+0,022.164	+0,000.629	−0,020.907	−0,042.442
0,30	−0,082.459	−0,009.355	+0,063.750	**+0,136.854**	+0,109.959	+0,083.063	+0,056.167	+0,029.271	+0,002.375	−0,024.520	−0,051.416
0,35	−0,085.126	−0,017.604	+0,049.918	+0,117.441	+0,134.963	+0,102.485	+0,070.007	+0,037.529	+0,005.051	−0,027.426	−0,059.904
0,380.082	**−0,085.546**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,40	−0,085.369	−0,023.595	+0,038.179	+0,099.953	**+0,161.727**	+0,123.500	+0,085.274	+0,047.048	+0,008.821	−0,029.405	−0,067.631
0,45	−0,083.464	−0,027.549	+0,028.366	+0,084.280	+0,140.195	+0,146.110	+0,102.024	+0,057.939	+0,013.854	−0,030.232	−0,074.317
0,50	−0,079.688	−0,029.688	+0,020.312	+0,070.312	+0,120.312	**+0,170.312**	+0,120.312	+0,070.312	+0,020.312	−0,029.688	−0,079.688
0,55	−0,074.317	−0,030.232	+0,013.854	+0,057.939	+0,102.024	+0,146.110	+0,140.195	+0,084.280	+0,028.366	−0,027.549	−0,083.464
0,60	−0,067.631	−0,029.405	+0,008.821	+0,047.048	+0,085.274	+0,123.500	**+0,161.727**	+0,099.953	+0,038.179	−0,023.595	−0,085.369
0,619.918	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	**−0,085.546**
0,65	−0,059.904	−0,027.426	+0,005.051	+0,037.529	+0,070.007	+0,102.485	+0,134.963	+0,117.441	+0,049.918	−0,017.604	−0,085.126
0,70	−0,051.416	−0,024.520	+0,002.375	+0,029.271	+0,056.167	+0,083.062	+0,109.958	**+0,136.854**	+0,063.750	−0,009.355	−0,082.459
0,75	−0,042.442	−0,020.907	+0,000.629	+0,022.164	+0,043.690	+0,065.235	+0,086.770	+0,108.30[illegible]	+0,079.840	+0,001.376	−0,077.08[illegible]
0,80	−0,033.261	−0,016.808	−0,000.356	+0,016.000	+0,032.548	+0,049.000	+0,065.452	+0,081.904	**[illegible]**	+0,014.808	−0,068.740
0,85	−0,024.148	−0,012.447	−0,000.745	+0,010.957	+0,022.058	+0,034.360	+0,046.061	+0,057.763	+0,069.[illegible]	+0,031.106	−0,057.1[illegible]
0,90	−0,015.383	−0,008.044	−0,000.705	+0,006.[illegible]	+0,013.978	+0,021.313	+0,028.654	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE II.

Poutres reposant sur plus de deux appuis.

§ 1er. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

§ 2. — POUTRES REPOSANT SUR 3 APPUIS.

1er cas : 2 travées. — $\alpha = 1,00$.

2e cas : 3 travées. — $\alpha = 0,90$.

3e cas : 3 travées. — $\alpha = 0,80$.

4e cas : 3 travées. — $\alpha = 0,70$.

§ 5. — Poutres reposant sur 6 appuis.

1er cas : 5 travées. — $\alpha = 1{,}00$.

2e cas : 5 travées. — $\alpha = 0^m{,}90$.

3ᵉ cas : 5 travées. — $\alpha = 0,80$.

4ᵉ cas : 5 travées. — $\alpha = 0,70$.

N° 31

THÉORIE
DE LA
STABILITÉ DES LOCOMOTIVES

Par M. J. NADAL, Ingénieur au Corps des Mines.

Dans un mémoire paru dans les *Annales des Mines* (*), j'ai étudié en détail les principaux problèmes que soulève la question de la stabilité des locomotives. La note qui va suivre en contient les parties essentielles avec des modifications et additions assez importantes. C'est ainsi que le § II renferme une exposition du problème des oscillations d'un corps solide porté par des ressorts plus générale et plus claire que celle qui a été donnée dans les *Annales des Mines* et que les § IV, VIII, X, XIII sont entièrement nouveaux.

I. — Une locomotive ne se meut pas sur les rails d'un mouvement uniforme par suite du jeu de la voie, des jeux existant entre les diverses parties de la locomotive elle-même et de la présence des ressorts sur lesquels oscille le poids suspendu, le bâti. Le mouvement de translation suivant l'axe de la voie est donc accompagné de mouvements accessoires : 1° Oscillation du poids suspendu sur les ressorts donnant lieu à des déplacements verticaux et

(*) *Annales des Mines*, livraisons d'avril, août et septembre 1896.

horizontaux ; 2° rotation autour d'un axe vertical passant par le centre de gravité ; 3° déplacement du centre de gravité de part et d'autre de l'axe de la voie, en sorte que la trajectoire est une courbe sinusoïdale et non une ligne droite ou un arc de cercle. On s'est proposé d'étudier les lois de ces mouvements accessoires, lesquels ont une très grande importance dans la pratique en ce qu'ils font varier les efforts que la locomotive exerce sur la voie, efforts qui doivent rester enfermés dans certaines limites pour que la circulation des trains s'effectue en toute sécurité et dont il est par suite extrêmement utile de connaître les variations.

L'étude de la stabilité des locomotives se divise en deux parties : oscillations du bâti sur les ressorts, et mouvement de lacet.

II. — Un véhicule de chemin de fer est constitué par un solide invariable reposant sur un train d'essieux par l'intermédiaire de ressorts. Pour simplifier, on suppose qu'il n'y a qu'un système de ressorts placés à la même hauteur au-dessus de la voie, c'est-à-dire dans un plan horizontal au repos, et symétriquement par rapport au plan médian longitudinal du véhicule ; on suppose également que le solide s'appuie sur chaque ressort en un point unique.

Le problème consiste à connaître à chaque instant la position du solide quand les ressorts se compriment ou se détendent. Cette position sera connue si on détermine celle de trois points quelconques, et il n'y a, dans le problème, que trois variables indépendantes : les déplacements verticaux des trois points choisis dans le solide, parce que les déplacements horizontaux dépendent géométriquement des déplacements verticaux.

En effet, quand les ressorts se compriment ou se détendent, les points d'appui a_1, a_2, a_3, etc. (*fig.* 1),

s'abaissent ou s'élèvent, dans une direction rigoureusement verticale, chacun de quantités différentes, mais telles que tous ces points restent toujours dans un même plan, le plan du châssis.

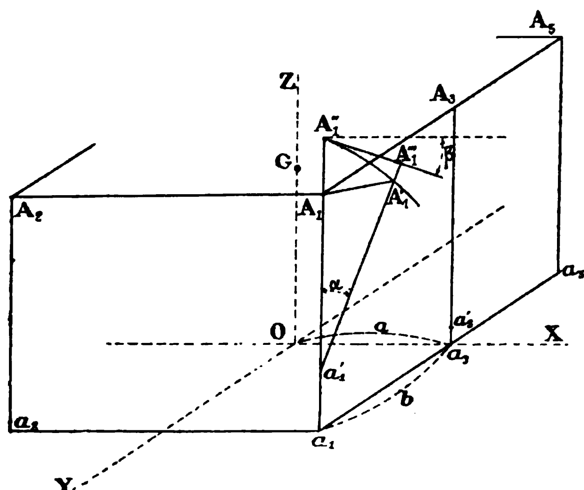


Fig. 1.

Les arêtes, ou une ligne quelconque du solide, primitivement verticales, ne cessent pas d'être normales au châssis après déformation. Par suite, lorsque dans le mouvement d'oscillation le point a_1 vient en a'_1, a_3 en a'_3, etc., et que le plan a vient dans une nouvelle position, plan a', où il n'est plus horizontal, l'arête a_1A_1 vient occuper une position telle que $a'_1A'_1$, restant normale au plan a', de sorte que l'angle α est égal à l'angle des deux plans a et a'. Le déplacement élémentaire du point A_1 s'effectue donc suivant la droite $A_1A'_1$ et donne une composante sur chacun des axes coordonnés OX, OY, OZ. Les composantes horizontales, ξ et η, sont les mêmes pour tous les points du solide situés à une même hauteur, e, au-dessus du

plan des ressorts et égales à :

$$\xi = e\alpha \cos \beta$$
$$\eta = e\alpha \sin \beta$$

Les composantes verticales, z, sont différentes pour les points situés primitivement dans un même plan horizontal ; mais, pour les points d'une même verticale, on peut les considérer comme égales. En effet, le déplacement vertical z_1 du point A_1 diffère du déplacement $a_1a'_1$ de la petite quantité $A'_1A'''_1$, distance d'un point de la circonférence de rayon $a_1A_1 = a'_1A'_1$ à la tangente en A''_1, distance qui est un infiniment petit du second ordre, si le déplacement z_1 peut être considéré comme un infiniment petit du premier ordre, ce qui est toujours sensiblement vrai.

L'angle α des deux plans a et a' ne dépend que des déplacements verticaux ; il en est de même de l'angle β que forme le plan $a_1A_1A'_1$ avec le plan OXZ. Par conséquent, les déplacements horizontaux, ξ et η, sont fonction des déplacements verticaux, et le problème ne comporte que trois variables indépendantes, qui sont, par exemple, le déplacement z_0 du centre de gravité et les déplacements z_1 et z_2 des deux ressorts d'avant a_1 et a_2.

Pour avoir les équations du problème, il suffira d'écrire, conformément au principe de d'Alembert, qu'il y a équilibre entre les forces d'inertie et les forces appliquées.

Les forces appliquées sont la pesanteur dont la résultante passe par le centre de gravité et les tensions des ressorts. La tension d'un ressort se compose d'une quantité fixe — qui est la tension du ressort au repos, égale au poids suspendu sur le ressort — à laquelle il faut ajouter une quantité variable dépendant de la variation de flèche, c'est-à-dire des déplacements verticaux z de la base supérieure et ε de la base inférieure du ressort.

Lorsque, par suite des dénivellations de la voie, la base inférieure s'élève de la quantité ε et que, en même temps, la base supérieure s'élève de la quantité z, la flèche du ressort augmente de la quantité $z - \varepsilon$, et par suite la tension diminue de $\frac{z - \varepsilon}{K}$, K étant le coefficient de la flexibilité. On a donc, en appelant θ la variation de tension,

$$z - \varepsilon = - K\theta.$$

Les valeurs θ sont fonction des dénivellations ε supposées connues et des déplacements verticaux.

Dans une locomotive il y a d'autres forces appliquées : les réactions F_1, à droite, et F_2, à gauche, de la crosse du piston sur les glissières, agissant à une distance δ des ressorts d'avant. Enfin quand un véhicule fait partie d'un train, il faudrait tenir compte également des efforts de traction et des frottements des tampons, ce qui n'a pas été fait pour simplifier.

Les équations d'équilibre déduites du principe de d'Alembert sont au nombre de six, puisqu'il faut écrire que les sommes des projections des forces sur trois axes et que les sommes des moments pris par rapport à trois axes fixes sont nulles. Or, dans le problème actuel, puisqu'il n'y a que trois inconnues, il faudrait n'avoir que trois équations.

Il n'y en a effectivement que trois — l'équation des projections sur l'axe vertical et les deux équations des moments par rapport aux deux axes horizontaux, — toutes les forces appliquées étant verticales, si on ne tient pas compte, comme il a été fait dans le mémoire inséré aux *Annales des Mines*, des forces d'inertie dues aux déplacements horizontaux. Ces équations sont les suivantes, en appelant X, Y, Z, les coordonnées d'un point quelconque,

de masse m, du solide dont le poids est 6P :

$$(1) \qquad 6\,\frac{P}{g}\,\frac{d^2 z_0}{dt^2} = \Sigma\theta + F_1 + F_2$$

$$(2) \qquad \sum m\left(\frac{d^2Z}{dt^2}Y - Z\frac{d^2Y}{dt^2}\right) = (\theta_1+\theta_2-\theta_3-\theta_6)b + (F_1+F_2)\delta + 6P\eta$$

$$(3) \qquad \sum m\left(\frac{d^2Z}{dt^2}X - Z\frac{d^2X}{dt^2}\right) = (\theta_1+\theta_3+\theta_5-\theta_2-\theta_4-\theta_6)a + (F_1-F_2)a + 6P\xi.$$

Si on tient compte des forces d'inertie horizontales, il faut écrire trois autres équations, dans lesquelles n'entrent que ces forces d'inertie et de nouvelles inconnues qui ne sont autres que les réactions horizontales qui se développent dans les ressorts par suite de la position inclinée que prend le solide suspendu.

Par exemple, la somme des projections des forces d'inertie sur l'axe OX est $\sum m\,\frac{d^2X}{dt^2}$. Or X n'est autre que la quantité $\xi = ex\cos\beta$. En calculant les valeurs x et $\cos\beta$ en fonction de z_0, z_1 et z_2, on trouve pour ξ :

$$\xi = -\frac{e\,(z_1 - z_2)}{2a}$$

donc :

$$\sum m\,\frac{d^2X}{dt^2} = -\sum m\,\frac{e}{2a}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2} - \frac{d^2z_2}{dt^2}\right) = -\frac{1}{2a}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2} - \frac{d^2z_2}{dt^2}\right)\Sigma\, me.$$

Cette quantité n'est pas nulle, la somme du produit des masses par leur distance au plan des ressorts étant différente de zéro ; elle ne serait nulle que si le plan des ressorts passait par le centre de gravité du solide.

En définitive, si on fait intervenir les trois équations qui ne contiennent que les forces d'inertie horizontales, elles permettent de calculer les réactions horizontales des ressorts, mais on n'introduit dans la question ni conditions, ni inconnues surabondantes, et cela ne modifie en

rien les trois équations fondamentales qui servent à résoudre le problème.

Maintenant il faut dans les équations (1), (2) et (3) exprimer toutes les inconnues qu'elles renferment en fonction des trois variables indépendantes z_0, z_1 et z_2.

D'abord, en écrivant que tous les ressorts sont dans un même plan, on trouve les déplacements z_3, z_4, z_5, z_6 des ressorts autres que les deux d'avant, et il vient :

$$z_3 = z_0 + \frac{z_1 - z_2}{2},$$
$$z_4 = z_0 - \frac{z_1 - z_2}{2},$$
$$z_5 = 2z_0 - z_2,$$
$$z_6 = 2z_0 - z_1.$$

Il en résulte qu'on connait les tensions θ en fonction de z_0, z_1 et z_2. On connait également ξ et η et par suite les seconds membres des équations (1), (2) et (3).

Restent les premiers membres de (2) et (3). Soient a', b', c' les valeurs de X, Y, Z quand il n'y a pas de déformation. Les quantités X et Y sont respectivement égales à a' et à b' plus les composantes des déplacements horizontaux. On a donc :

$$X = a' - \frac{c'(z_1 - z_2)}{2a}$$
$$Y = b' - \frac{c'(z_1 - z_5)}{2b} = b' - \frac{c'(z_1 + z_2)}{2b} + \frac{c'z_0}{b}$$

En prenant les dérivées secondes, il vient :

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -\frac{c'}{2a}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2} - \frac{d^2z_2}{dt^2}\right)$$
$$\frac{d^2Y}{dt^2} = -\frac{c'}{2b}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2} + \frac{d^2z_2}{dt^2}\right) + \frac{c'}{b}\frac{d^2z_0}{dt^2}.$$

Le déplacement vertical du point (XYZ) est égal à un infiniment petit du second ordre près, au déplacement

vertical du point (XYz), qui se trouve sur la même verticale dans le plan du centre de gravité. On a donc :

$$\frac{d^2Z}{dt^2}=\frac{d^2z}{dt^2}.$$

Or l'équation du plan parallèle à celui des ressorts et passant par le centre de gravité est :

$$-\frac{z_1-z_2}{2az_0}x+\frac{2z_0-(z_1+z_2)}{2bz_0}y+\frac{1}{z_0}z=1.$$

En remplaçant x et y par a' et b' nous aurons z et par suite $\frac{d^2z}{dt^2}$. Il vient :

$$\frac{d^2z}{dt^2}=\frac{d^2z_0}{dt^2}+\frac{a'}{2a}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}-\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)+\frac{b'}{2b}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}+\frac{d_2z_2}{dt^2}\right)-\frac{b'}{b}\frac{d^2z_0}{dt^2}.$$

Nous sommes maintenant en mesure de transformer les premiers membres de (2) et (3) qui deviennent :

$$(2\ bis)\quad \sum m\left[b'\frac{d^2z_0}{dt^2}+\frac{a'b'}{2a}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}-\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)+\frac{b'^2}{2b}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}+\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)\right.$$
$$\left.-\frac{b'^2}{b}\frac{d^2z_0}{dt^2}+\frac{c^2}{2b}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}+\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)-\frac{c'^2}{b}\frac{d^2z_0}{dt^2}\right]=$$

$$(3\ bis)\quad \sum m\left[a'\frac{d^2z_0}{dt^2}+\frac{a'^2}{2a}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}-\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)+\frac{a'b'}{2b}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}+\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)\right.$$
$$\left.-\frac{a'b'}{b}\frac{d^2z_0}{dt^2}+\frac{c'^2}{2a}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}-\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)\right]=$$

Le système d'équations (1), (2 *bis*) et 3 *bis*) peut être intégré dans tous les cas, mais la solution est très compliquée. Elle se simplifie considérablement si on admet que les plans OXZ et OYZ sont des plans de symétrie, ce qui est admissible pour le plan OYZ, plan longitudinal, mais non pour le plan OXZ. Enfin, dans ce cas, les quantités $\Sigma\, ma'$, $\Sigma mb'$ et $\Sigma ma'b'$ sont nulles, et l'équation (2 *bis*) se réduit à :

$$-\frac{\Sigma m\,(b'^2+c'^2)}{b}\frac{d^2z_0}{dt^2}+\frac{\Sigma\, m\,(b'^2+c^2)}{2b}\left(\frac{d^2z_1}{dt^2}+\frac{d^2z_2}{dt^2}\right)=\cdots$$

Or $\Sigma m (b'^2 + c'^2)$ est le moment d'inertie, I_x, du solide, par rapport à l'axe OX.

De même dans l'équation (3 *bis*) on voit apparaître le moment d'inertie, I_y, par rapport à l'axe OY.

En poursuivant les calculs, qui ne présentent plus désormais aucune difficulté, on trouve que z_0 s'exprime par une fonction trigonométrique dont la période est :

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{PK}{g}};$$

que $z_1 + z_2 = w$ est donné par la différentielle :

$$\frac{I_x}{2b}\frac{d^2w}{dt^2} + \left(\frac{2b}{K} - \frac{3Pe}{b}\right)w = f(t),$$

et s'exprime par la somme de deux fonctions trigonométriques dont les périodes sont :

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{KI_x}{4b^2 - 6PKe}} \quad \text{et} \quad T_1;$$

et qu'enfin $z_1 - z_2 = v$ s'exprime également par une fonction trigonométrique dont la période est :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{KI_y}{6a^2 - 6PKe}}.$$

On peut calculer approximativement les moments d'inertie en supposant que la masse du véhicule est répartie en autant de points matériels qu'il y a de ressorts. C'est l'artifice qui a été employé pour obtenir des formules simplifiées.

En définitive, le mouvement d'oscillation du poids suspendu, dans une locomotive, est un mouvement périodique qui est la résultante de trois mouvements élémentaires : 1° celui dû aux valeurs initiales de z et de $\frac{dz}{dt}$ — oscillations propres des ressorts — ; 2° celui dû aux dénivella-

tions des rails ; 3° celui dû aux réactions sur les glissières. En vertu du principe de l'indépendance des petits mouvements, en peut les étudier séparément. Chacun d'eux est lui-même la résultante de trois mouvements simples dont les périodes ne deviennent égales que lorsque la hauteur, *e*, du centre de gravité au-dessus du plan des ressorts est nulle. Le calcul de ces périodes montre qu'elles sont très voisines, avec les valeurs ordinaires de *e*, et qu'on peut sans grande erreur les considérer comme égales. La valeur de la période de l'oscillation simple est : $T = 2\pi \sqrt{\frac{PK}{g}}$, où g est l'intensité de la pesanteur, K le coefficient de flexibilité et P le poids porté par un ressort. K et P sont supposés les mêmes pour tous les ressorts.

III. — Ce sont les dénivellations de la voie qui exercent le plus d'influence sur les oscillations des ressorts. Ces dénivellations ont été étudiées d'une façon très complète, en ce qui concerne les voies en rails Vignole, par M. Coüard, Ingénieur à la Compagnie de Lyon (*). Il serait possible que les conclusions ci-après fussent quelque peu différentes, en ce qui concerne les voies en rails à double champignon. Aussi serait-il grandement à désirer que de nouvelles expériences fussent entreprises pour élucider cette question.

M. Coüard a établi que le rail d'aval est presque toujours plus bas, au joint, que le rail d'amont et que la dénivellation d'un rail est maxima à la première ou à la seconde traverse, suivant que le bourrage est ancien ou récent, et nulle vers la dernière traverse. Les dénivellations normales sont de 3 à 4 millimètres et peuvent atteindre jusqu'à 8 et 9 millimètres. Enfin la forme de la voie est constante pour toutes les roues d'une locomotive. Il suit

(*) *Revue générale des Chemins de fer*, octobre et décembre 1887.

de là que la ligne sur laquelle roulent les roues peut être représentée géométriquement par une ligne brisée formée de droites également inclinées et algébriquement par une fonction périodique du temps, dont la période est égale à la durée de parcours d'un rail, c'est-à-dire à $\frac{l}{V}$, l étant la longueur du rail, et V la vitesse de marche en mètres par seconde.

Pour pouvoir introduire facilement cette fonction du temps dans les équations des oscillations, il n'y a qu'à diviser la durée pendant laquelle une locomotive passe d'un rail sur l'autre en autant d'intervalles distincts qu'il y a d'essieux sur un espace égal à la longueur d'un rail, quel que soit l'empattement. Par exemple, pour une locomotive à trois essieux, le premier intervalle sera celui compris entre les passages du premier et du second essieu sur le joint, le deuxième celui compris entre les passages du second et du troisième essieu sur le joint et le troisième celui compris entre le passage du troisième essieu sur le joint et le passage du premier essieu sur le joint suivant. Dans chacun de ces intervalles, l'équation qui représente les dénivellations de la voie sous chaque roue est linéaire, et les différentielles s'intègrent facilement. Leurs intégrales donnent les oscillations des ressorts pendant que la locomotive parcourt un rail et peuvent être appelées les *équations des oscillations primaires*.

Ces équations suffisent pour déterminer toutes les circonstances du mouvement en supposant que la forme de la voie d'un rail à l'autre ainsi que la vitesse de translation restent les mêmes. En effet, supposons qu'à l'origine du temps, moment où le premier essieu passe sur le joint d'un rail, les valeurs z des déplacements verticaux ainsi que leurs dérivées $\frac{dz}{dt}$ soient nulles. Le mouvement pendant le passage sur le premier rail sera donné par les

équations primaires, puis, pendant le passage sur le second rail et en vertu du principe de l'indépendance des petits mouvements, toujours par ces mêmes équations auxquelles il faudra ajouter un terme complémentaire représentant l'oscillation propre d'un ressort due aux valeurs initiales, c'est-à-dire aux valeurs de z et de $\frac{dz}{dt}$ tirées des équations primaires pour le moment où le premier essieu passe sur le second joint ; et ainsi de suite.

Cela revient à dire que chaque rail communique un mouvement d'oscillation simple auquel se superpose le mouvement déjà acquis et qui est supposé se perpétuer indéfiniment. Il suffit, en définitive, de connaître les équations primaires pour pouvoir écrire immédiatement l'équation complète des oscillations pour un rail occupant le n^e rang après le premier.

Cela permet de déterminer facilement la période et l'amplitude des oscillations. Pour avoir la période, il suffit de chercher au bout de combien de rails les valeurs initiales supposées nulles à l'origine redeviennent nulles. On trouve que cela a lieu lorsque $\sin \frac{nml}{2V} = o$, c'est-à-dire lorsque $n\frac{ml}{2V} = q\pi$, n étant le nombre de rails, q un nombre entier quelconque et $m = \sqrt{\frac{g}{PK}}$. La période est le temps mis à parcourir n rails. Pour trouver n, il suffit de compter le nombre de côtés d'un polygone étoilé fermé inscrit dans un cercle de rayon égal à l'unité et ayant pour côté la corde correspondant à l'arc $\frac{ml}{V}$. Le nombre de rails de la période peut varier théoriquement de un à l'infini.

En ce qui concerne l'amplitude les oscillations, M. Vicaire, inspecteur général des Mines, a démontré (*) que, dans un

(*) *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 12 janvier 1891.

système matériel animé de petits mouvements à partir de la position d'équilibre stable, l'amplitude des déplacements est maxima lorsque la période des oscillations propres du système coïncide avec la période de la force pertubatrice. Par conséquent, lorsque la période $T = 2\pi \sqrt{\frac{PK}{g}}$ des oscillations propres des ressorts est égale à la période $\frac{l}{V}$, le mouvement acquiert l'amplitude maxima. La vitesse V correspondante est la *vitesse critique* de la locomotive et est donnée par la relation : $V = \frac{l}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{PK}}$. Cette vitesse est d'autant plus élevée que la longueur des rails est plus grande. Pour P = 5.000 kilogrammes, K = 6 millimètres, valeurs qu'on rencontre fréquemment dans la pratique, la vitesse critique varie de 60 kilomètres à l'heure pour les rails de $5^m,50$ à 120 kilomètres à l'heure pour les rails de 11 mètres.

Pour une vitesse quelconque, l'amplitude totale se détermine assez facilement en partant des oscillations primaires. Un fait digne de remarque, c'est que le maximum de ces dernières varie très peu — il diminue — quand la vitesse augmente et peut, par suite, être regardé comme sensiblement constant, quelle que soit la vitesse. Il ne dépend que des dénivellations de la voie, de la disposition et de la flexibilité des ressorts, de la valeur du poids suspendu.

IV. — Dans ce qui précède, on a supposé que les oscillations propres des ressorts se conservaient indéfiniment. Or, il n'en est pas ainsi, car, à cause de l'inertie et des résistances passives des ressorts, les oscillations doivent s'éteindre assez vite. Les résultats obtenus en partant de l'hypothèse de la conservation indéfinie des oscillations sont donc des maxima qui ne seront jamais atteints. Dans

la réalité, on s'en approche d'autant plus que la période des oscillations totales est plus petite. L'amplitude maxima aura donc toujours lieu pour la vitesse critique déterminée plus haut, mais il est douteux qu'à cette vitesse la tension des ressorts puisse être complètement annulée. Pour éclaircir cette question, il serait indispensable de faire des expériences en vue d'étudier la décroissance de l'amplitude des oscillations propres des ressorts.

La variation de tension est donnée par la relation : $z - \varepsilon = - K\theta$. On a supposé que la valeur ε, qui est le déplacement de la base inférieure d'un ressort, était égale à la dénivellation de la voie. Cela n'est pas exact à cause de la conicité des bandages et du mouvement de lacet, qui font varier le rayon de roulement d'une roue. Pour un jeu de la voie de 3 centimètres et une conicité de $\frac{1}{15}$, la hauteur d'un essieu au-dessus du rail et par suite la hauteur de la base d'appui du ressort peuvent varier au maximum de 2 millimètres, ce qui représente la moitié des dénivellations moyennes de la voie (4 millimètres). Les effets de la conicité ne sont donc pas négligeables, mais leur étude implique la connaissance préalable des lois du mouvement de lacet. La dénivellation due à la conicité tantôt s'ajoute à celle de la voie, tantôt s'en retranche. Dans le premier cas, les oscillations des ressorts se trouvent amplifiées, et la décharge totale des roues est plus à craindre. La conicité exerce donc, sous ce rapport, une influence nuisible.

V. — Étant donné le diagramme des pressions de la vapeur dans le cylindre, on peut connaître les réactions de la crosse du piston sur les glissières. Elles constituent une force perturbatrice dont la période est égale à la durée d'un tour de roue. Dans les équations des oscillations entrent la somme de ces réactions d'un côté et de

l'autre de la machine et leur différence. Cette somme et cette différence peuvent être représentées approximativement chacune par une expression en sinus, dont la période est un quart de tour pour la première et un demi-tour pour la seconde. Le calcul des oscillations n'offre alors aucune difficulté, et on en déduit des conclusions analogues à celles exposées plus haut en ce qui concerne la période et l'amplitude. Cette amplitude est maxima lorsque la période des oscillations propres des ressorts est égale à la période de la force perturbatrice, qui est l'inverse du nombre de tours par seconde. Mais on peut calculer cette amplitude maxima d'une façon détournée en profitant de ce qu'on a pris pour représenter les forces perturbatrices des expressions approchées dont la période est moindre que la période réelle.

On trouve que, d'une manière générale, les réactions sur les glissières donnent lieu à des oscillations d'amplitude beaucoup moins grandes que celles dues aux dénivellations de la voie.

VI. — La théorie des oscillations se termine par l'étude de l'influence de la différence de flexibilité des ressorts, du nombre d'essieux, des bogies. On est ainsi conduit à des conclusions très intéressantes et rigoureusement démontrées.

Lorsque, dans une locomotive à trois essieux, la flexibilité des ressorts d'avant est plus grande que celle des autres ressorts, les oscillations de l'avant sont plus petites que si la flexibilité était partout la même, mais la différence est peu sensible. Ainsi, pour un coefficient de flexibilité des ressorts d'avant double de celui des autres, l'amplitude de l'oscillation primaire est égale aux $\frac{6}{7}$ de de ce qu'elle serait dans le cas d'une flexibilité égale.

L'amplitude des oscillations diminue quand on aug-

mente le nombre des essieux. Ainsi, si on compare deux machines, l'une à 3 essieux, l'autre à 4 essieux — ayant des ressorts de même flexibilité et également chargés dans les deux cas, — on trouve que l'amplitude des oscillations primaires des ressorts d'avant n'est dans le second cas que les $\frac{42}{50}$ de ce qu'elle est dans le premier cas. Ce rapport se rapproche de l'unité lorsque le coefficient de flexibilité des ressorts d'arrière de la machine à 4 essieux est notablement supérieur à celui des autres ressorts.

L'influence d'un bogie, placé à l'avant, sur les oscillations est beaucoup plus importante. Si on suppose qu'on remplace l'essieu d'avant d'une machine à 3 essieux par un bogie dont le pivot corresponde au milieu de l'essieu enlevé, l'oscillation primaire de l'avant de la machine — comptée sur l'essieu unique ou au pivot du bogie — ne sera plus que les $\frac{2}{5}$ environ — exactement $\frac{108}{275}$ — de ce qu'elle était auparavant. Par conséquent, la variation de charge sur le pivot du bogie sera beaucoup moins grande qu'elle ne le serait sur un essieu unique, substitué au bogie, et celui-ci présente une supériorité incontestable.

VII. — Le mouvement de lacet d'une machine a pour origine une rotation du bâti et des essieux qui en sont complètement solidaires autour de l'axe vertical passant par leur centre de gravité; les essieux non solidaires du bâti peuvent ou non, suivant les cas, participer à la rotation. Cette dernière est accompagnée d'un phénomène plus important, qui donne au mouvement de lacet son véritable caractère et sa principale portée. Elle modifie, en effet, la direction de la vitesse de translation de la locomotive, et c'est surtout pour cela que cette dernière

se porte en totalité tantôt sur une file de rails, tantôt sur l'autre.

Une locomotive avance sur les rails par l'effet de la rotation des roues. Si on considère un essieu seul, simplement animé d'un mouvement de rotation uniforme autour de son axe et dont les roues n'auraient pas de conicité, son mouvement sur les rails sera identique à celui d'un rouleau cylindrique sur un plan, c'est-à-dire qu'il progressera normalement à son axe longitudinal. Si on fait agir momentanément des forces extérieures de façon à faire tourner d'un certain angle les axes soit de l'essieu, soit du rouleau, ceux-ci continueront à progresser normalement à la direction nouvelle de leurs axes. La direction de la vitesse de translation est donc variable, si la direction des axes change ; elle reste toujours perpendiculaire à ces axes. Si maintenant on a plusieurs essieux ou plusieurs rouleaux solidaires et parallèles, la vitesse de translation sera toujours dirigée suivant leur normale commune. Le fait que les roues ont une certaine conicité ne modifie pas cette conclusion. Un essieu à roues coniques animé d'un mouvement de rotation autour de son axe se déplacera sur les rails normalement à cet axe ; mais, les rayons de roulement n'étant pas les mêmes pour les deux roues, la position de l'axe variera constamment sans l'intervention de forces extérieures, et la trajectoire, au lieu d'être une droite comme dans le cas du rouleau cylindrique, sera une courbe. La vitesse de translation est donc, dans tous les cas, normale à l'axe, et il en est de même si on a un train d'essieux parallèles.

Ainsi, la vitesse de translation d'une locomotive étant V, si, à un moment donné, son axe longitudinal fait un angle θ avec l'axe de la voie, la vitesse de translation donnera deux composantes, l'une : $V \cos \theta$, dirigée suivant l'axe de la voie, et l'autre : $V \sin \theta$, dirigée normalement à cet axe ; d'ailleurs, comme θ est toujours très petit, on peut

prendre simplement $V\theta$ pour cette dernière composante.

On voit clairement que tout mouvement de rotation imprimé à une locomotive autour d'un axe vertical aura pour conséquence d'obliger toute la locomotive à se porter soit d'un côté, soit de l'autre de l'axe de la voie avec une vitesse $V\theta$. La trajectoire du centre de gravité n'est donc pas parallèle à l'axe de la voie, et c'est là ce qui donne de l'importance au mouvement de lacet.

VIII. — Il faut au préalable étudier les forces qui provoquent le mouvement de rotation d'une locomotive autour d'un axe vertical. Pour une machine seule — sans tender — circulant en alignement, ces forces se réduisent à celles provenant de l'action de la vapeur et des pièces en mouvement relatif et à celles provenant du frottement et des déplacements des bandages sur les rails.

L'action de la vapeur et celle des pièces en mouvement relatif ne s'exerçant pas d'une façon symétrique par rapport au plan médian donnent lieu à un moment de rotation autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité. On connaît le diagramme des pressions dans le cylindre, et on connait également la force d'inertie des pièces en mouvement relatif, si la vitesse est uniforme. On peut donc en déduire soit les efforts exercés sur les longerons, soit les réactions tangentielles des roues sur les rails, et ces deux catégories de forces donnent le même moment N par rapport à un axe vertical situé dans le plan médian. Ce moment N varie beaucoup suivant le type de la locomotive. Il a pour période la durée d'un tour de roue et il tend à faire tourner la machine tantôt de droite à gauche — N positif — tantôt de gauche à droite — N négatif —. Dans les locomotives à deux cylindres, la manivelle de droite est ordinairement calée à 90° en avant de la manivelle de gauche ; il résulte de cette disposition un fait qui a des conséquences importantes : c'est que le moment N

acquiert des valeurs négatives beaucoup plus grandes que les valeurs positives.

Nous allons le démontrer.

Le moment N est le moment des forces X_1, X_2, etc., agissant sur les longerons. Elles se divisent en deux catégories :

1° Forces provenant de l'action de la vapeur et forces d'inertie, F_a, des pièces en mouvement alternatif ;

2° Forces d'inertie, F_r, des pièces tournantes.

Il est facile de voir que, si les contrepoids des roues motrices sont les mêmes et sont placés de même façon des deux côtés, ces dernières forces donnent des moments tels que ceux représentés sur la *fig.* 2, M_d pour le côté droit, M_g pour le côté gauche, M_r pour l'ensemble.

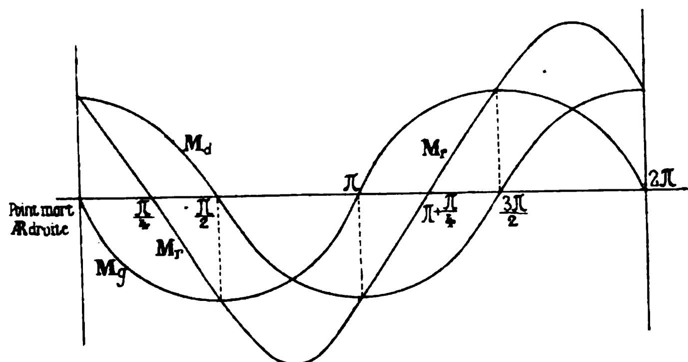


FIG. 2.

Effectivement les quantités M_d et M_g ont la forme : $M_d = A \cos \alpha$ et $M_g = A \sin \alpha$. La courbe M_r entre $\frac{\pi}{4}$ et $2\pi + \frac{\pi}{4}$ est donc symétrique par rapport au point $\pi + \frac{\pi}{4}$. A une valeur quelconque positive du moment M_r correspond une valeur négative égale en valeur absolue.

Considérons maintenant les forces de la première catégorie. Quand la manivelle part du point mort avant de droite, la force agissant sur le côté droit a pour expression :

$$X_1 = P_0 - (P_0 - F_a)\left(1 - \frac{r}{R}\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos\beta}\right)$$

P_o étant la pression effective sur le piston, F_a la force d'inertie des pièces en mouvement alternatif, r le rayon de manivelle, R le rayon de la roue, α l'angle de manivelle et β l'angle de la bielle motrice avec l'axe du cylindre.

Examinons comment varie la force X pendant un tour de manivelle.

Pour $\alpha = o$, point mort avant droit, la force P_o agissant sur le plateau avant du cylindre est dirigée vers l'avant ; $P_o - F_a$ est la différence entre la pression sur le piston et la force d'inertie qui lui est opposée. Donc la quantité $P_o - F_a$, qui est, du reste, multipliée par un facteur moindre que l'unité, est plus petite que P_o, et la force X_1 est dirigée vers l'avant, c'est-à-dire positive.

Pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $F_a = o$; on a : $X_1 = P_0 - P_0\left(1 - \frac{r}{R}\right)$.

La force X_1 est donc toujours positive dans le premier quadrant.

Au-delà de $\frac{\pi}{2}$, la force F_a agit dans le même sens que la pression sur le piston, et on a dans le deuxième quadrant :

$$X_2 = P_0 - (P_0 + F_a)\left(1 - \frac{r}{R}\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos\beta}\right).$$

Le second terme augmente parce que F_a augmente et que $\sin(\alpha + \beta)$ diminue. D'ailleurs, on se trouve dans la période de détente, et P_o diminue. Donc X_2 s'annule pour

un certain point m situé dans le deuxième quadrant (*fig.* 3).

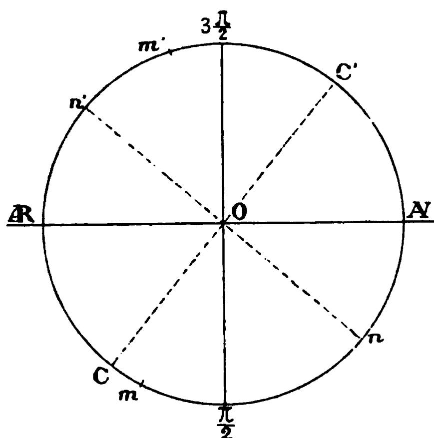


Fig. 3.

On arrive ensuite, en C, à la période de compression pendant laquelle la pression sur le plateau du cylindre s'exerce vers l'arrière et celle sur le piston vers l'avant.

En prenant toujours P_o en valeur absolue, on a :

$$X_2 = (P_0 - F_a)\left(1 - \frac{r}{R}\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos\beta}\right) - P_0.$$

Cette quantité est négative pour la même raison qui nous a servi plus haut à démontrer que X_1 est positif ; donc la force X'_2 est dirigée vers l'arrière.

Pour $\alpha = \pi$, $X'_2 = P_o - F_a - P_o = - F_a$, nous admettons que la compression et l'avance à l'admission sont suffisantes pour faire remonter, vers la fin de la course, la pression à sa valeur initiale.

A partir du point mort arrière, on a dans le troisième quadrant :

$$X_3 = (P_0 - F_a)\left(1 + \frac{r}{R}\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta}\right) - P_0,$$

l'angle α étant compté à partir de OAR.

La force X_3, négative pour $\alpha = 0$, diminue en valeur absolue et s'annule pour un point m' situé dans le troisième quadrant. En effet, pour $\pi + \alpha = \frac{3\pi}{2}$, on a :

$$X_3 = P_0 \left(1 + \frac{r}{R}\right) - P_0 > 0.$$

Dans le quatrième quadrant on a, jusqu'à la période de compression, jusqu'en c' :

$$X_4 = (P_0 + F_a) \left(1 + \frac{r}{R} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta}\right) - P_0 > 0,$$

et pendant la compression :

$$X'_4 = P_0 - (P_0 - F_a) \left(1 + \frac{r}{R} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta}\right),$$

quantité également positive pour la même raison qui fait que X_3 est négative à partir du point mort arrière.

En résumé, la force X est dirigée vers l'avant dans le parcours de manivelle $m'Am$ et vers l'arrière dans le parcours mRm', qui est plus petit que le premier puisque les points m et m' se trouvent dans les second et troisième quadrants.

Du côté gauche de la locomotive, les forces X sont identiquement les mêmes — si les cylindrées de vapeur sont les mêmes, ce qu'on admet — avec cette seule différence qu'il y a un retard de phase de 90°.

Il est à remarquer que, pour des angles de manivelle différant de 180°, les forces X sont loin d'avoir la même valeur absolue. Prenons en effet les valeurs X_1 et X_3 correspondant à un diamètre nn' (*fig.* 3).

La valeur absolue de X_3 est :

$$X_3 = P_0 - (P_0 - F_a) \left[1 + \frac{r}{R} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta}\right],$$

et on a :

$$X_1 - X_3 = 2 (P_0 - F_a) \frac{r}{R} \sin \alpha.$$

Donc X_1 est plus grand que X_3 en valeur absolue.

On a de même :

$$X_4 - X_2 = 2 (P_0 + F_a) \frac{r}{R} \sin \alpha,$$

et X_4 est plus grand que X_2 en valeur absolue ;

$$X'_2 - X'_4 = 2 (P_0 - F_a) \frac{r}{R} \sin \alpha,$$

et X'_2 est plus grand en valeur absolue que X'_4.

Ainsi pendant la course avant-arrière les forces X sont plus grandes en valeur absolue que pendant la course arrière-avant, sauf dans les angles opposés $\widehat{CO\frac{\pi}{2}}$ et $\widehat{C'O\frac{3\pi}{2}}$, où c'est le contraire qui a lieu. Il est d'ailleurs utile d'observer que ces derniers angles sont généralement petits ; la compression est généralement supérieure à 25 0/0 de la course, ce qui correspond à un angle de 60° avec l'axe horizontal et de 30° avec l'axe perpendiculaire. Ainsi $\widehat{CO\frac{\pi}{2}}$ est le plus souvent compris entre 30° et zéro.

D'après ce qui précède, il est facile de démontrer que la plus grande valeur absolue de N est négative, c'est-à-dire tend à faire tourner la machine de gauche à droite.

Pour $t = o$, point mort avant droit, les manivelles occupent les positions OD, OG (*fig.* 4); les forces X à droite et à gauche sont dirigées vers l'avant, leurs moments par rapport au plan médian de la locomotive sont de signes contraires et par suite se retranchent, et, comme la pression P_0 est plus grande à droite où on se trouve dans la période d'admission qu'à gauche où on est

dans la période de détente, le moment N à partir de $x = 0$ est positif.

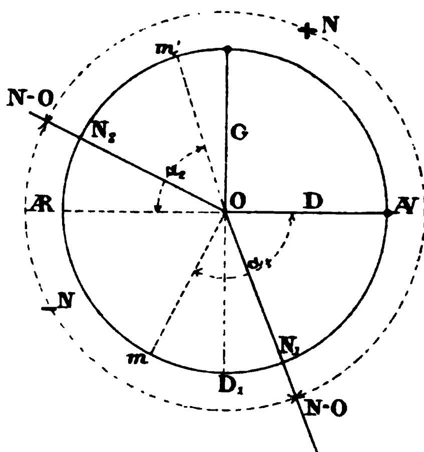


Fig. 4.

Quand la manivelle de droite est en OD_1, les forces de droite et de gauche sont toujours dirigées vers l'avant, leurs moments se retranchent, mais la différence N est négative. N change donc de signe un peu avant $x = \frac{\pi}{2}$ et pendant la compression dans le cylindre de gauche.

A partir de l'instant où la manivelle droite est en O*m*, la force X à droite est dirigée vers l'arrière, tandis qu'à gauche elle est toujours vers l'avant; les moments s'ajoutent, et la somme N est négative. Elle augmente en valeur absolue, puis diminue quand la manivelle gauche se rapproche de O*m*, instant où la force X de gauche passe par zéro et devient négative.

A partir d'alors les moments se retranchent jusqu'à ce que la manivelle droite soit en O*m'*. Le moment N est redevenu positif quelque temps après le point mort arrière de droite.

Enfin, tant que la manivelle de gauche se trouve

avant Om', les moments des forces X s'ajoutent, et N est positif. Ordinairement, si la force d'inertie n'acquiert pas de trop grandes valeurs, c'est-à-dire si la vitesse n'est pas trop élevée, le moment N ne redevient pas négatif.

Le maximum négatif de N doit, d'après ce qui précède, avoir lieu pour un angle de la manivelle compris entre α_1 et $\alpha_1 + \frac{\pi}{2}$ (*fig.* 4); et le maximum positif de N pour un angle de cette même manivelle compris entre $\pi + \alpha_2$ et $\frac{3\pi}{2} + \alpha_2$. Ces maxima correspondent à des positions de manivelle telles que OD, OG et OD′, OG′ (*fig.* 5). Le maximum positif ne peut avoir lieu que quelque temps après que la

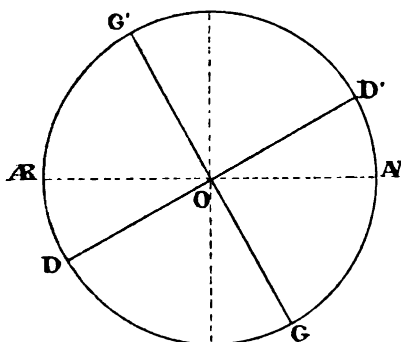


Fig. 5.

manivelle droite a dépassé le point m', puisque c'est à partir de ce point que les forces X donnent des deux côtés des moments de même signe. Il aura donc lieu quand la manivelle de droite est entrée dans la phase de compression. Si nous considérons alors les moments correspondant à des positions de manivelle OD,OG et OD′OG′ (*fig.* 5) dans le prolongement on a, en appelant Y les forces du côté gauche :

Pour OD, OG....... $N = l\,(Y_1 + X'_2)$;
Pour OD′, OG′....... $N' = l\,(Y_3 + X'_4)$.

et le premier moment est plus grand que le second parce que, comme on l'a expliqué plus haut, $Y_1 > Y_3$ et $X'_2 > X'_4$.

Par conséquent, le moment négatif acquiert des valeurs plus grandes que le moment positif. Cette inégalité tient à l'avance de 90° de la manivelle de droite sur celle de gauche et à la force d'inertie des pièces en mouvement alternatif. *C'est uniquement par cette dissymétrie des moments* N *que se traduit la dissymétrie d'une locomotive.*

Le fait signalé par M. Lœvy, ingénieur russe (*) — inégalité des efforts de traction et de compression exercés sur les longerons de droite et de gauche — est une conséquence de cette théorie des moments. En effet, pour obtenir en vraie grandeur les efforts sur les longerons, il faut décomposer des forces agissant aux deux extrémités d'un levier droit — l'essieu — en d'autres forces agissant en des points intermédiaires, au droit des longerons, — quand les cylindres sont extérieurs —. Or, dans cette décomposition des forces, les moments interviennent. Les efforts exercés sur les longerons seraient les mêmes des deux côtés, si les forces X et Y se trouvaient dans le plan des longerons. Il y a donc intérêt à ce que ceux-ci soient aussi rapprochés que possible des axes des cylindres correspondants.

La dissymétrie du moment N nous servira plus loin à expliquer les causes de l'entraînement inégal des files de rails de droite et de gauche sur les lignes à double ou à quadruple voie.

IX. — Les forces de frottement des bandages sur les rails proviennent de ce que les roues ne roulent pas parfaitement. La grandeur de ces forces est connue, c'est le

(*) *Revue générale des Chemins de fer*, novembre 1893.

produit de la pression qu'exerce une roue sur le rail par le coefficient de frottement ou d'adhérence. Mais, pour avoir leur direction, il faut connaitre la direction du glissement élémentaire.

Sans même invoquer le mouvement de lacet, il est certain qu'une locomotive, ne serait-ce qu'à cause des inégalités de la voie, peut occuper sur les rails une position quelconque dans laquelle le centre de gravité se trouve à une certaine distance ζ de l'axe de la voie et dans laquelle le plan médian fait un certain angle θ avec le plan vertical passant par l'axe de la voie.

La translation de la machine, dont les essieux sont supposés tourner avec une vitesse angulaire uniforme, s'effectuant toujours, dans un sens normal à la direction commune des essieux, c'est-à-dire dans la direction θ — supposée pour le moment invariable — toutes les roues doivent parcourir le même chemin. Or, si les roues roulaient parfaitement, comme les rayons de roulement sont différents, les chemins parcourus le seraient également. Il se produit donc, à cause de la conicité des bandages, des glissements dirigés suivant les rails.

Le mouvement de translation de la machine peut être accompagné — et même doit l'être, à cause des glissements dont il vient d'être parlé, — d'un mouvement de rotation réel autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité. En effet, en supposant que les réactions tant verticales qu'horizontales qu'exercent les rails sur les roues sont remplacées par des forces effectives de même valeur, on peut par la pensée supprimer la voie et considérer la locomotive comme un solide libre dans l'espace, soumis à certaines forces. Si celles-ci ne donnent pas un moment nul par rapport à l'axe vertical du centre de gravité, la machine prendra nécessairement un mouvement de rotation réel autour de cet axe.

Lorsque l'angle θ que fait la locomotive avec l'axe de

la voie augmente de $d\theta$, chaque roue glisse d'une certaine quantité perpendiculairement à la ligne qui joint son point de contact sur le rail à la projection du centre de gravité sur le plan de la voie. Ce glissement élémentaire donne une composante normale au rail et une autre composante suivant le rail qui s'ajoute au glissement dû à la conicité des bandages.

On peut donc connaître le glissement élémentaire total en grandeur et en direction et par suite la direction de la force de frottement, variable avec la position de la machine ; on en déduit le moment M des forces de frottement.

X. — Un point assez important reste à éclaircir. Il s'agit de savoir si ces forces sont de nature à créer une résistance à la traction et de connaître par suite quelle est la direction de leur résultante. On va démontrer que, sur une voie en ligne droite, les forces de frottement J_1, J_1', appliquées aux deux roues d'un essieu, sont alternes par rapport à la direction de l'essieu, si les charges des roues sont égales, et donnent par suite une résultante normale à la voie.

Les composantes du glissement dû à la rotation autour du centre de gravité sont les mêmes pour les deux roues d'un essieu, le centre de gravité se trouvant à la même distance de chacune des roues.

Le glissement élémentaire suivant le rail dû à la conicité, lorsque le milieu d'un essieu est à droite de l'axe de la voie, a pour valeur :

A droite .... $\omega (r + \zeta\gamma)\, dt - V dt$,
A gauche............. $V dt - \omega (r - \zeta\gamma)\, dt$,

V étant la vitesse uniforme de marche, ω la vitesse angulaire de l'essieu, r le rayon moyen de roulement,

ζ l'écart du milieu de l'essieu par rapport à l'axe de la voie, γ la conicité.

Ce glissement est différent pour les deux roues si :

$$V \gtrless \omega r.$$

Supposons, par exemple, $V > \omega r$. Il en résultera que le glissement élémentaire des roues roulant sur un rayon plus grand que r, qui s'effectue vers l'arrière, sera plus petit que le glissement des roues roulant sur un rayon plus petit que r, qui s'effectue vers l'avant. Le travail des forces du frottement sera en appelant η_1, η'_1, etc., les glissements : $\Sigma f P_1 (\eta_1 - \eta'_1)$ et sera négatif, puisque $\eta_1 < \eta'_1$.

En vertu du principe de la moindre action, ce travail doit être nul. On peut dire, si l'on veut, pour démontrer la chose directement, que ce travail négatif tendra à diminuer la vitesse V et à la rapprocher de ωr. Quand V aura atteint cette dernière valeur, le travail de frottement sera rigoureusement nul et, par suite, V n'aura aucune tendance à abandonner la valeur ωr.

Les forces de frottement sont, en définitive, alternes par rapport à l'essieu quand les charges des roues sont égales.

Quand elles sont différentes, les cosinus des angles que font les forces avec le rail sont inversement proportionnels aux charges, et la résultante est dans tous les cas normale à la voie. Le mouvement de lacet ne crée par suite aucune résistance à la traction, en alignement.

XI. — L'équation du mouvement de rotation de la locomotive, I étant son moment d'inertie, est :

$$(1) \qquad I \frac{d^2\theta}{dt^2} = M + N.$$

Quand même N serait nul — ce qui est le cas des wagons — le mouvement de rotation n'en aurait pas

moins lieu, car M est toujours différent de zéro, sauf quand l'axe longitudinal du véhicule se trouve dans le plan vertical de l'axe de la voie.

M est fonction de θ et de $\frac{d\theta}{dt}$, cette différentielle est d'ordre supérieur et non linéaire; dans l'état actuel des connaissances en analyse, elle ne peut être intégrée que par approximations successives.

Pour avoir le mouvement total de la locomotive, il faut ajouter à l'équation de la rotation celle qui exprime le déplacement du centre de gravité normalement à l'axe de la voie, à savoir:

$$(2) \qquad \frac{d\zeta}{dt} = V\theta.$$

On peut trouver une intégrale approximative de l'équation (1) par de simples quadratures, en remarquant que, en vertu du principe de la moindre action, M + N doit tendre constamment vers zéro. Comme le moment N se divise en deux périodes, pendant chacune desquelles on peut le supposer égal à sa valeur moyenne, le moment M doit être aussi constant et égal à — N. De plus, M étant fonction de $\frac{d\theta}{dt}$, la valeur connue M = — N permet de trouver la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ vers laquelle tend la vitesse de rotation de la locomotive.

Cette recherche est rendue facile par l'usage d'abaques donnant M en fonction de $\frac{d\theta}{dt}$ et de la distance du milieu de chaque essieu à l'axe de la voie. Dans ces abaques, M est représenté par des lignes droites partant de l'origine des coordonnées.

XII. — Le déplacement latéral d'une locomotive atteint assez souvent une valeur égale au jeu de la voie et n'est,

dans ce cas, arrêté que par le contact avec les rails des mentonnets du premier essieu rigide. A partir du moment où le contact a lieu, cet essieu est rendu fixe, abstraction faite de la translation parallèle à la voie, et, si l est sa distance au centre de gravité, ε le demi-jeu de la voie, on a :

$$\zeta + l\theta = \varepsilon;$$

d'où :

$$\frac{d\zeta}{dt} = -l\frac{d\theta}{dt}.$$

Ainsi, lors du contact du mentonnet avec le rail, se produit un choc qui a pour effet d'abaisser la vitesse latérale de la locomotive de $V\theta$ à $-l\frac{d\theta}{dt}$. L'impulsion de la percussion est égale à la quantité de mouvement perdue, c'est-à-dire, Π étant le poids de la locomotive moins celui des essieux non rigides, égale à $\frac{\Pi}{g}\left(V\theta - l\frac{d\theta}{dt}\right)$. La vitesse $\frac{d\theta}{dt}$, ordinairement faible, peut être nulle et, par suite le maximum de l'impulsion de la percussion est : $\frac{\Pi}{g}V\theta$. Cette quantité acquiert parfois des valeurs très considérables, et la voie peut se trouver désorganisée par le choc.

En outre, après le choc, le mentonnet reste un certain temps en contact avec le rail, et il s'exerce entre eux une réaction X par suite de laquelle la vitesse latérale du centre de gravité reste inférieure à $V\theta$. La translation de la machine n'étant pas libre, les forces de frottement n'ont plus les mêmes directions que précédemment et se rapprochent de la normale au rail. On trouve X en écrivant qu'il y a équilibre entre la force de liaison X, les forces appliquées et les forces d'inertie. La valeur maxima

de X est :

$$X = fII\frac{I}{I_1} + \frac{1}{l}\left(1 - \frac{I}{I_1}\right)N,$$

où I_1 est le moment d'inertie par rapport à l'axe vertical passant par le milieu de l'essieu fixe.

Cette valeur X n'est que la composante horizontale de la réaction R qui s'exerce entre le mentonnet et le rail. En admettant que cette réaction soit normale à la surface de contact, qui présente une inclinaison de $\frac{1}{5}$ par rapport à la verticale, on peut trouver R et en déduire l'effort qui tend à soulever la roue et à la faire dérailler ; il est égal à

$$Y + Y_1 = X\left(\frac{1}{5} + f'\right),$$

f' étant le coefficient de frottement du boudin sur le rail, ordinairement égal à f, coefficient d'adhérence, si les boudins ne sont pas lubrifiés. Cet effort ne peut, en général, être supérieur à la pression de la roue sur le rail, que dans le cas où la roue est déchargée par suite des oscillations du bâti.

La considération des réactions dynamiques et statiques exercées sur le rail permet d'apprécier la tendance d'une roue au déraillement. Il faut remarquer, tout d'abord, que la percussion du mentonnet sur le rail n'est pas un phénomène instantané, mais a, au contraire, à cause de la flexibilité du rail, une durée appréciable τ pendant laquelle le rail cède sous le choc en exerçant sur le boudin une réaction φ, puis revient par élasticité à sa position normale. Avant que la flexion du rail s'arrête, on devra avoir :

$$\int_0^{\frac{\tau}{2}} \varphi dt = \frac{\Pi}{g} V\theta,$$

ou, en prenant la valeur moyenne φ_1 de φ :

$$\varphi_1 \frac{\tau}{2} = \frac{\Pi}{g} V\theta.$$

Or la quantité dont le rail fléchit étant η et la vitesse moyenne de ce mouvement de flexion étant approximativement $\frac{V\theta}{2}$, on a :

$$\eta = \frac{1}{4} V\theta\tau;$$

d'où :

$$\varphi_1 = \frac{\Pi}{g} \frac{(V\theta)^2}{2\eta}.$$

Cette réaction φ_1 donne lieu à un effort vertical tendant à soulever la roue, qui peut être de beaucoup supérieur à la charge normale de cette roue. Il y aura donc commencement de déraillement, mais pendant un temps très petit, par exemple 4 à 5 centièmes de seconde au plus pour une flexion du rail de 5 millimètres. Le déraillement ne peut donc avoir lieu effectivement que si la réaction statique, $Y + Y_1$, qui s'exerce immédiatement après et pendant une durée notablement plus grande, vient le compléter.

XIII. — En outre des efforts exercés latéralement sur les rails, le mouvement de lacet produit des déplacements longitudinaux de la voie.

On a observé (*) que sur les lignes à double et à quadruple voie la file de rails gauche, dans le sens de la marche, est plus fatiguée et subit un entraînement longitudinal plus grand que la file de droite. L'entraînement de la voie est dû principalement aux chocs sur les joints

(*) Voir la note de M. Cohard sur les déformations permanentes de la voie : *Revue générale des Chemins de fer*, août 1896.

des rails. Si les charges des roues, du côté droit et du côté gauche, présentaient une différence moyenne permanente, on comprendrait que, les chocs sur les joints étant inégaux, les effets d'entraînement le soient aussi. Mais l'étude des oscillations des ressorts dues aux réactions sur les glissières montre que ces oscillations sont les mêmes des deux côtés de la locomotive, avec une certaine différence de phase, et que par suite il n'y a pas de différence permanente dans les charges des roues, si la voie est symétrique par rapport à son axe.

Il faut chercher ailleurs la cause de l'entraînement inégal des files de rails. Elle réside dans le mouvement de lacet.

Lorsqu'une locomotive occupe sur la voie une position diagonale, les roues glissent ou patinent, les unes — celles qui roulent sur un rayon trop petit — vers l'avant, les autres vers l'arrière. Les premières exercent donc sur le rail une action identique à celle d'une roue sur laquelle agit le sabot d'un frein, les secondes exercent une action inverse. La question est de savoir si ces deux effets, se répétant à de courts intervalles, se compensent exactement, car, s'il n'en est pas ainsi, s'il y a prédominance de l'un sur l'autre, il se produira forcément soit un entraînement, soit un refoulement des files de rails.

Pour résoudre cette question, il faut calculer les composantes suivant le rail des forces de frottement qui se développent entre les roues et les rails dans le mouvement de lacet et, à cet effet, construire les courbes qui représentent les diverses inconnues de ce mouvement. Mais on peut prévoir d'avance le résultat.

Nous avons vu plus haut que le moment N est dissymétrique et plus grand de gauche à droite que de droite à gauche. Par conséquent, dans les oscillations de la locomotive de gauche à droite, l'accélération $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ et la vitesse

de rotation $\frac{d\theta}{dt}$ doivent subir des variations et notamment acquérir des valeurs plus grandes que dans les oscillations de droite à gauche. Ainsi la dissymétrie de N entraîne celle de la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$, et cette dernière entraîne à son tour la dissymétrie des composantes suivant le rail des forces de frottement, puisque ces forces ont une direction d'autant plus rapprochée du rail que la vitesse est moins grande.

Comment sont dirigées les forces de frottement en fonction de la position de la machine ?

Supposons que celle-ci se trouve tout entière à droite de l'axe de la voie (*fig.* 6) et que la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ ait une valeur positive, la rotation ayant lieu de droite à gauche. Il est facile de voir, d'après la composition des glissements, que les forces de frottement J auront les directions portées sur la *fig.* 6. Si la rotation avait lieu de gauche à droite, les forces feraient avec les rails des angles différents, mais elles seraient toujours dirigées à droite vers l'avant, à gauche vers l'arrière.

C'est le contraire qui a lieu quand la machine se trouve à gauche de l'axe de la voie.

Les réactions qu'exercent les roues sur le rail étant opposées aux forces de frottement, on voit que :

1° Quand la machine est à droite de l'axe de la voie, c'est-à-dire pendant l'oscillation à droite, les roues de droite refoulent la file de rails droite, et les roues de gauche entraînent la file gauche ;

2° Pendant l'oscillation à gauche, les roues de droite entraînent la file droite et les roues de gauche refoulent la file gauche.

Comme les forces J sont alternes par rapport à la direction de l'essieu, la force d'entraînement de la file de

rails d'un côté est à chaque instant égale à la force de refoulement de l'autre file.

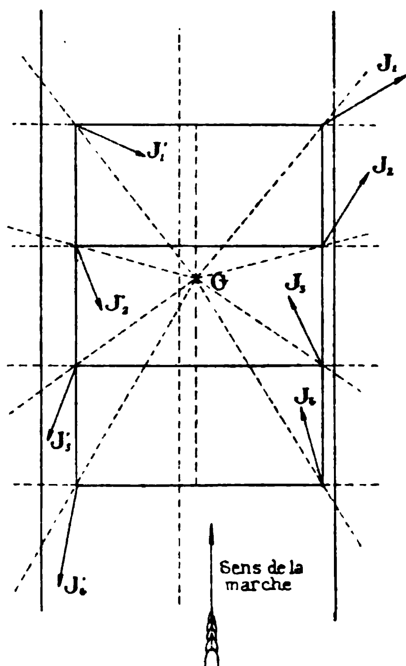


FIG. 6.

Or, puisque, à cause de la dissymétrie de N, la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ acquiert pendant l'oscillation à gauche des valeurs plus grandes que pendant l'oscillation à droite, les forces J faisant avec le rail un angle d'autant plus grand que $\frac{d\theta}{dt}$ est lus grand donnent dans le premier cas une résultante suivant le rail plus petite que dans le second cas. Donc la force de refoulement de la file de gauche a une valeur moyenne inférieure à la force d'entrainement de cette même file.

et c'est le contraire à droite. Il en résulte que le mouvement de lacet exerce sur la voie une action analogue à celle d'un frein constamment serré, avec cette différence que l'action est exactement inverse pour les deux files de rails : entraînement pour la file de gauche, refoulement pour celle de droite.

Cette action du mouvement de lacet jointe aux autres causes d'entraînement des rails a pour résultat un entraînement de la file de gauche plus grand que celui de la file de droite.

XIV. — En courbe, le mouvement de lacet s'étudie comme en alignement. Les directions des forces de frottement ne sont plus les mêmes, mais on les calcule de la même manière.

Suivant le type de la locomotive et la grandeur du rayon de la courbe, trois cas peuvent se présenter :

1° Dans les courbes de petit rayon, il n'y a pas de mouvement de rotation de la locomotive ; son axe longitudinal prend et conserve sur la courbe l'obliquité maxima. Il n'y a pas de chocs sur les rails, mais seulement des réactions statiques des mentonnets. Ces réactions, qu'on appelle poussée radiale, sont du même ordre de grandeur qu'en alignement et se calculent de la même façon, sauf qu'il faut tenir compte de la force centrifuge et du dévers ;

2° Dans les courbes de rayon moyen, la locomotive prend un mouvement de rotation autour de l'axe vertical passant par le milieu de l'essieu d'avant, le boudin de la roue extérieure d'avant ne cessant pas de rester au contact du rail. Il n'y a de chocs que sur le rail intérieur, mais ils n'ont pas une grande importance ;

3° Enfin, dans les courbes de grand rayon, le mouvement de lacet s'effectue comme en alignement, avec cette

différence que son amplitude est plus grande du côté du rail extérieur que du côté du rail intérieur.

Ces observations s'appliquent à des locomotives à empattement rigide total. Si on suppose que les essieux d'avant et d'arrière ont des jeux leur permettant de se déplacer par rapport au bâti, par exemple au moyen de plans inclinés, l'obliquité maxima que peut prendre la machine est plus grande que si l'empattement rigide est total, la locomotive peut circuler dans des courbes plus raides, et il peut y avoir mouvement de rotation sur toutes les courbes où les jeux ne s'épuisent pas complètement. Mais ce mouvement n'a qu'une faible amplitude à cause de la grande résistance que lui opposent les plans inclinés.

XV. — Tous les efforts tentés pour augmenter la stabilité des locomotives doivent tendre à atténuer les réactions dynamiques et statiques des boudins sur les rails. Un certain nombre de dispositifs tels que les jeux des essieux, les bogies, les attelages avec le tender arrivent plus ou moins complètement à ce résultat.

Le jeu longitudinal d'un essieu peut consister simplement en un jeu des fusées dans les coussinets et est alors caractérisé par l'absence d'un dispositif de rappel, ou bien il peut être réalisé au moyen du système très usité des plans inclinés.

Dans le premier cas, l'essieu pourra ou non participer au mouvement de rotation du bâti et des autres essieux rigides suivant que la force de frottement aux fusées sera plus grande ou plus petite que la force de frottement des bandages sur les rails. Si elle est plus petite, cas qui pourra se produire surtout lorsque l'adhérence est bonne, l'essieu ne commencera à suivre le mouvement du bâti que lorsque le jeu sera épuisé. Par conséquent, au moment du contact du boudin avec le rail, l'essieu se comportera au point de vue du choc comme s'il était rigide,

avec cette aggravation que l'angle θ, dont dépend l'intensité du choc, aura pu acquérir une valeur plus grande que s'il n'y avait pas de jeu. Dans ce cas le jeu est plus nuisible qu'utile. Lorsque, au contraire, l'essieu suit dès le début le mouvement du bâti, le jeu ne fonctionne qu'au moment du choc sur le rail; ce choc se trouve fractionné en deux et par suite atténué.

C'est ce dernier cas qui se produit toujours lorsque le jeu est réalisé au moyen de plans inclinés, car ils offrent contre tout déplacement une résistance plus grande que la force de frottement des bandages sur le rail. Le choc des mentonnets des roues d'avant est limité au poids propre de l'essieu, et le déplacement latéral de la machine ne peut se poursuivre qu'en surmontant la résistance des plans inclinés. La machine doit donc se redresser rapidement. Si les boudins du second essieu, supposé rigide, arrivent au contact des rails avant que ce redressement soit terminé, il se produira un choc de même nature que lorsque l'empattement rigide est total, avec cette différence que le poids Π est diminué de celui de l'essieu d'avant et que l'angle θ doit être plus petit. L'intensité du choc sera donc moins grande, mais toujours très importante. Dans l'autre cas, il n'y a pas de choc du second essieu et le mouvement de lacet n'exerce sur la voie que des effets négligeables.

L'action des bogies sur le mouvement de lacet est bien plus efficace que celle des essieux à plans inclinés, car non seulement le premier choc des boudins sur les rails ne porte que sur le bogie seul, mais il n'y a pas de second choc des boudins d'un essieu rigide. En outre, on peut construire le bogie de telle façon que, pour une adhérence donnée, les boudins des deux roues d'un même côté arrivent simultanément au contact du rail; l'axe longitudinal du bogie est alors parallèle à la voie. Enfin le bogie permet d'augmenter l'empattement de la machine, sans

diminuer sa facilité de circulation en courbe, ce qui réduit l'amplitude angulaire du mouvement de rotation. De plus on a vu que, dans les machines à bogie, l'amplitude des oscillations du poids suspendu sur les ressorts se trouve très réduite. On doit en conclure que la locomotive à grande vitesse la plus stable est la locomotive à bogie.

XVI. — Le tender intervient d'une façon très efficace pour atténuer le mouvement de lacet de la locomotive. Cette intervention se produit principalement par les tampons dans les attelages ordinaires. En effet, lorsque les tampons sont fortement serrés, la locomotive, pour acquérir un mouvement transversal indépendant de celui du tender, doit vaincre la force du frottement des tampons. Si cette force est suffisamment grande par suite du serrage, les mouvements de lacet de la locomotive et du tender sont liés entre eux. C'est ce qui arrive le plus souvent, et il en résulte que l'amplitude des déplacements latéraux de la locomotive est réduite. Mais l'action des tampons peut ne pas toujours avoir une efficacité complète, par suite de diverses circonstances, et il vaut évidemment beaucoup mieux avoir des locomotives stables par elles-mêmes.

La solidarité entre locomotive et tender peut être établie d'une façon certaine et complète au moyen des attelages dits convergents, parce qu'ils sont tels que le mouvement relatif qu'effectue le tender par rapport à la locomotive, ou inversement, consiste en une simple rotation autour d'un certain point d'intersection des axes des deux véhicules. La théorie des attelages convergents a été faite par un auteur allemand, M. Hartmann. Ces attelages ont été peu appliqués en France ; seul le système de tampons de M. Edmond Roy, qui constitue un attelage

convergent, a reçu une certaine extension sur les réseaux de l'Ouest et de l'État.

XVII. — C'est la vitesse de marche qui joue le rôle le plus important dans le mouvement de lacet.

Ce mouvement est périodique. L'amplitude des oscillations latérales varie en sens inverse de la durée de la période, et celle-ci est d'autant plus petite, toutes choses égales d'ailleurs, que la vitesse de marche est plus grande. Cela se comprend facilement, puisque le centre de gravité se déplace normalement à la voie avec une vitesse $V\theta$. Par conséquent, la stabilité d'une machine, qui se mesure par l'importance du mouvement de lacet et par celle des effets sur la voie qui en proviennent, est d'autant moindre que la vitesse de marche est plus grande. Cette stabilité ne diminue cependant pas uniformément quand la vitesse augmente; elle passe par un premier minimum pour la vitesse critique correspondant à l'amplitude maxima des oscillations des ressorts.

La conclusion de l'étude sur la stabilité des locomotives, c'est que, s'il existe des machines pouvant réaliser sans aucun danger des vitesses élevées, 120 kilomètres à l'heure et même davantage, il y en a d'autres pour lesquelles la question de sécurité exige la limitation de la vitesse de marche.

Bourges, février 1897.

N° 32

ACCIDENTS CAUSÉS

PAR DES

RUPTURES DE TUBES A FUMÉE

DE 1888 A 1896

Par M. C. WALCKENAER, Ingénieur des Mines,
Secrétaire de la Commission centrale des Machines à vapeur.

Sur les chemins de fer où circulent des locomotives pourvues de tubes à fumée en laiton, l'écrasement ou la rupture d'un de ces tubes est un accident assez fréquent: sur un des réseaux français, pendant le 2e semestre de 1895, les avaries de cette espèce ont eu lieu en service sur le pied moyen de 13 à 14 ruptures par an et par 100 locomotives à tubulures de laiton. Cet accident est généralement inoffensif. Le petit diamètre des tubes, les dispositions de la chaudière, sa situation en plein air, sauvegardent, dans la plupart des cas, le mécanicien et le chauffeur. — De temps à autre cependant, un accident de personne s'ensuit : c'est lorsque l'avarie coïncide avec une circonstance spéciale, par exemple lorsque la porte du foyer est ouverte ou mal fermée, ou lorsque la locomotive stationne sur une fosse et qu'un agent, descendu pour graisser le mécanisme, s'y trouve surpris par le flux brûlant refoulé hors du cendrier. En France, dans l'espace de quatre ans (1893-1896), il est arrivé six fois que des accidents de cette sorte ont causé, à des agents des chemins de fer, des incapacités de travail excédant vingt jours ; en 1896, l'un de ces accidents a brûlé un

mécanicien assez grièvement pour qu'il ait eu cent huit jours d'interruption de service.

Mais qu'au lieu de fonctionner en plein air, comme une locomotive, une chaudière soit placée à l'intérieur d'une usine ou d'un bateau, la rupture d'un ou plusieurs tubes à fumée sera une éventualité beaucoup plus redoutable, surtout si les tubes sont de fort diamètre, si la façade du générateur offre par ses ouvertures une sortie facile aux fluides brûlants, si la chambre de chauffe est étroite ou mal pourvue d'issues.

De 1888 à 1896, le Ministère des Travaux publics a eu connaissance de 15 cas où, en dehors de l'enceinte des chemins de fer, des ruptures de tubes à fumée ont causé des accidents de personnes (*). Il en est résulté 8 morts, 13 blessures graves; 7 personnes furent, en outre, légèrement blessées lors des mêmes accidents. Sauf pour deux hommes blessés par des tuiles arrachées d'un toit, les lésions des victimes sont toujours et uniquement des brûlures. Aucun des tubes qui ont donné lieu à ces 15 accidents n'est en acier ni en fer; ces tubes sont tous en laiton, sauf dans 1 cas où la matière est du cuivre. Leurs diamètres mesurent de 6 à 9 centimètres dans 7 cas, 10 centimètres ou plus dans les 8 autres; mais toutes les morts sont causées par les tubes de cette seconde catégorie, sauf une seule qui correspond à la condition d'emplacement la plus défavorable, celle d'une chambre de bateau. Réciproquement, parmi les 8 accidents qui proviennent de tubes mesurant au moins 10 centimètres de

(*) Ce relevé ne comprend ni un accident survenu le 13 avril 1893 à Chantenay (Loire-Inférieure), où 2 ouvriers ont été blessés par le déplacement (et non la rupture) d'un tube à fumée amovible, ni un accident qui a coûté la vie à 2 hommes, le 19 février 1896, à bord d'un bateau de pêche à vapeur du port de Boulogne : celui-ci est résulté, non directement de l'écrasement d'un tube, mais du départ inopiné d'un tampon métallique qui obturait l'une des extrémités d'un tube précédemment écrasé.

diamètre, on n'en trouve que 2 dont les suites ne soient pas mortelles, et encore, ces 2 fois, les chauffeurs sont-ils grièvement brûlés; mais 4 de ces 8 accidents causent chacun une mort, et celui du 22 octobre 1895, dans une teinturerie d'Elbeuf, brûle deux ouvriers mortellement et un troisième d'une manière très grave.

I. — Accidents provenant des tubes de 6 à 9 centimètres de diamètre.

Dans les 7 cas où les tubes mesuraient de 6 à 9 centimètres de diamètre, il est manifeste que la cause de l'avarie a été l'usure ou la corrosion des tubes, jointe ou non à une altération de leur métal par l'action prolongée des gaz chauds. Les chaudières auxquelles appartenaient ces tubes étaient à foyer intérieur et flamme directe dans 4 cas, semi-tubulaires dans 2 autres; la chaudière de bateau appartenait au type marin, à foyer intérieur et retour de flamme tubulaire. Les timbres de ces appareils variaient de 4 à 6 kilogrammes, et les épaisseurs primitives des tubes de 2 à 3 1/2 millimètres. Pour 3 des accidents, l'avarie est survenue au cours du fonctionnement normal de la chaudière; les 4 autres accidents se sont produits pendant un arrêt de machine, alors que la chaudière n'avait pas à fournir de vapeur : dans 3 de ces cas le chauffeur avait ouvert soit la porte du foyer, soit celle de la boîte à fumée.

C'est généralement du côté de l'entrée des gaz chauds qu'a lieu l'avarie, à proximité de la plaque tubulaire correspondante, et près de la bague pour ceux d'entre les tubes qui étaient bagués. C'est là que la température est maximum, que le courant gazeux entraîne dans son mouvement et ses remous le plus de particules solides, que les tubes sont le moins protégés par un revêtement de

suie contre le frottement de ces particules. Le degré de l'usure et sa rapidité sont très variables suivant les circonstances. Telle chaudière semi-tubulaire, timbrée à 4 kilogrammes, avait été retubée, en 1886, avec de vieux tubes; ces tubes, dont le diamètre était de 7,5 centimètres et dont l'épaisseur ne paraît avoir été que de 2 millimètres environ, avaient dû être raboutés avec des parties d'autres vieux tubes pour arriver à la longueur voulue, soit 3 mètres; malgré ces conditions suspectes dès l'origine, c'est plus de six ans après, en mars 1893, qu'un accident de personnes se produit. Il est vrai qu'il aurait pu se produire plus tôt, car il paraît qu'entre les deux époques un certain nombre de tubes avaient dû être remplacés. L'accident, survenu pendant un arrêt de la machine, provient de l'écrasement, sur 40 centimètres de longueur, de la partie raboutée de deux tubes appartenant à la moitié inférieure du faisceau et n'ayant plus que 1 1/4 ou 1 1/2 millimètre d'épaisseur. Dans une autre chaudière semi-tubulaire, timbrée à 5 kilogrammes, dont les tubes mesuraient 6 centimètres de diamètre, 3 mètres de longueur et $2^{mm},5$ d'épaisseur à l'état neuf, et que l'on chauffait au coke, une avarie qui brûle assez grièvement le contremaître de l'usine survient après dix ans de service. L'année précédente, on avait dû rabouter sur 50 centimètres de longueur un tube de la seconde rangée (à partir du haut), qui fuyait. L'accident résulte de l'écrasement de deux tubes de la rangée du haut; ces tubes avaient, près de la plaque tubulaire correspondant à l'entrée des gaz chauds, leur épaisseur réduite à $0^{mm},8$ dans la partie supérieure (c'est là qu'ils ont cédé) et l'usure diminuait progressivement à mesure qu'on s'avançait vers l'autre extrémité. — Parfois l'amincissement est beaucoup plus rapide. Une chaudière locomobile, type locomotive, timbrée à 6 kilogrammes, portait des tubes tout à fait comparables sous le rapport des dimensions à ceux de la semi-

tubulaire précédente : 6 centimètres de diamètre, $2^m,55$ de longueur, $2^{mm},5$ d'épaisseur primitive ; ces tubes étaient bagués. Ils n'avaient que trente mois de service lors de l'accident. Onze jours auparavant, un premier tube s'était mis à fuir et avait été remplacé. Puis, l'accident fut causé par la rupture, à l'extrémité contiguë au foyer, du tube du milieu de la rangée supérieure : l'épaisseur de ce tube était réduite dans cette région à 1/2 millimètre et l'épaisseur normale ne se retrouvait qu'à 45 centimètres de la plaque tubulaire ; l'ensemble de la tubulure avait perdu 1/7 de son poids. — Même rapidité d'usure dans le cas d'une chaudière, appartenant aussi au type locomotive, et placée à la suite d'un four à réchauffer dont elle recevait les gaz à la base de son foyer intérieur. Cette chaudière était timbrée à $5^{kg},5$; ses tubes, de 9 centimètres de diamètre, $4^m,23$ de longueur, 3 millimètres d'épaisseur originelle, avaient été posés en 1892. Dans les premiers jours d'avril 1895, rupture de tube inoffensive. Huit jours après, fissuration d'un tube, peut-être même de deux tubes simultanément, près de la plaque tubulaire du foyer, et l'ouvrier qui travaillait au gueulard du four est grièvement brûlé. On constate un fort amincissement du côté de l'entrée des gaz, réduisant l'épaisseur à 1 millimètre près des lèvres de la fissure et s'étendant à 15 ou 20 centimètres. Toute la tubulure présentait des diminutions d'épaisseur analogues.

Dans certains cas cependant, l'avarie a lieu, non pas à l'extrémité correspondant à l'entrée du courant gazeux, mais dans la partie aval des tubes. C'est ce qui est arrivé pour une chaudière du type locomotive, ayant quatorze ou quinze ans de service, et dont les tubes mesuraient 6 centimètres de diamètre, $2^m,25$ de longueur et $2^{mm},5$ d'épaisseur primitive. Cette épaisseur, pour le tube qui s'est rompu, était réduite presque à néant à l'endroit où l'écrasement s'est produit, dans la partie supérieure du

tube, à 10 centimètres de la plaque tubulaire de boîte à fumée. On attribue cette corrosion à la condensation des fumées acides provenant d'un charbon pyriteux. — Tel fut encore le cas d'une chaudière à foyer intérieur et flamme directe, du type ⊢, timbrée à 5 kilogrammes. La construction de cet appareil remontait à 1868, et l'accident, qui a grièvement brûlé un ouvrier, n'est que du 10 mai 1892. Dans ce long intervalle, les tubes, qui mesuraient 6 centimètres de diamètre, 2^{m},6 de longueur et 3^{mm},5 d'épaisseur primitive, avaient été tous raboutés à l'arrière, à une époque sur laquelle on n'est pas fixé. En 1884, 5 d'entre eux s'étaient écrasés lors d'une épreuve hydraulique et avaient été remplacés. L'accident a porté sur deux tubes anciens de la partie inférieure du faisceau ; ils se sont aplatis et rompus dans la région arrière, en avant du raboutage. Outre que leur épaisseur était réduite à 2^{mm} ou 2^{mm},5, leur surface (côté des gaz) était creusée de nombreuses corrosions en cupules.

Il est clair que les cas où des avaries comme celles qui nous occupent causent des accidents de personnes ne sont que des cas particuliers, instructifs comme exemples parce que les circonstances en sont étudiées et notées, mais ne différant pas comme essence de beaucoup d'autres ruptures analogues qui demeurent inoffensives. Il suffit de peu de chose, d'une circonstance de détail, pour qu'une semblable rupture soit ou sans conséquence, ou suivie d'un accident sérieux. Lors de l'une des avaries dont on vient de résumer les caractères, le chauffeur avait ouvert la porte de la boîte à fumée pour empêcher la pression de trop s'élever durant un arrêt du service, et 5 ouvriers étaient venus chercher dans la chambre de chauffe un abri contre la pluie et le froid ; ils étaient juste en face de la boîte à fumée ouverte ; la rupture du tube survenant, tous furent plus ou moins grièvement brûlés. Une autre fois, il s'agissait d'une machine, de forme loco-

mobile, actionnant les appareils d'un atelier de triage de houille ; le travail était momentanément arrêté faute de charbons à trier; un certain nombre d'enfants, de douze à quinze ans, se trouvaient réunis autour d'un foyer placé à 5 mètres en avant de la porte du bâtiment de la machine. Cette porte était ouverte, et le chauffeur se tenait accoudé contre elle, après avoir ouvert la porte du foyer, située dans le même alignement. Survient la rupture d'un tube à fumée : un jet de vapeur et de cendres vient brûler au visage un des enfants, âgé de douze ans et demi, qui s'était retourné vers l'appareil au bruit de l'explosion, pendant que ses camarades s'enfuyaient sans blessures et que le chauffeur, préservé par ses vêtements, était épargné.

Les circonstances les plus tristement instructives, au point de vue de la gravité que certaines conditions d'installation et d'emplacement peuvent donner aux accidents de ce genre, sont fournies par l'événement survenu le 11 mai 1894 à bord d'un bateau à vapeur, en rade de Brest. La chaudière, timbrée à 5 kilogrammes et offrant 11 mètres carrés de surface de chauffe, était à foyer cylindrique intérieur, avec retour de flamme par un faisceau de 46 tubes de laiton. Ces tubes mesuraient 67 millimètres de diamètre extérieur, $1^m,03$ de longueur et 2 1/2 millimètres d'épaisseur primitive. La construction remontait à 1873 ; la moitié des tubes avait été, paraît-il, remplacée en 1888 : on ne sait pas d'une façon précise si le tube qui a causé l'accident datait de la première ou de la seconde de ces époques. Il appartenait à la deuxième rangée à partir du haut, et était placé immédiatement et à petite distance au-dessus du ciel du foyer. Son épaisseur n'était plus que de 1 1/2 millimètre ; il s'est brisé au cours du fonctionnement ordinaire de la chaudière, très près de la bague qui l'assujettissait dans la plaque tubulaire, côté de l'entrée des gaz chauds ; de sa partie inférieure s'est

détaché un morceau de forme tourmentée, mesurant 6 centimètres sur 2 centimètres, et dont l'épaisseur variait de 1^{mm} à $1^{mm},2$. Le flux de vapeur et d'eau fit tomber la porte tribord de la boîte à fumée. Cette porte était un panneau entièrement amovible, maintenu en place par un ergot situé à la partie supérieure et par deux loquets tournants, l'un en bas, l'autre à gauche et en haut. Les circonstances de l'enquête ne permettent pas de dire si ces loquets étaient bien en prise. Toujours est-il que le mécanicien, frappé aux jambes par la chute de cette porte, fut surpris et suffoqué par le jet brûlant ; il eut de la peine à gagner l'échelle de sortie et fut atteint de brûlures étendues qui ont entraîné sa mort.

La chambre de chauffe laissait à désirer, non pas plus, mais à peu près de même qu'à bord de bien des bateaux. L'échelle, d'une hauteur de $1^{m},5$ (6 échelons) était placée presque verticalement à tribord, à 85 centimètres de distance de la façade de la chaudière. La distance séparant la chaudière de la machine n'était que de $1^{m},30$.

Derrière la machine était une porte de $0^{m},5$ de largeur et $0^{m},8$ de hauteur, par laquelle un homme qui aurait été dans la partie arrière de la chambre aurait pu à la rigueur, paraît-il, s'échapper dans le poste d'équipage.

On sait combien ont été graves, dans leurs conséquences, certaines avaries de chaudières survenues à bord des navires de la Marine militaire, bien que ces avaries n'eussent ouvert au passage de l'eau et de la vapeur que des brèches de peu d'étendue : c'est qu'il s'agissait de chaufferies closes en vue du tirage forcé par soufflage d'air, disposition qui pousse au maximum le danger que tout déversement de vapeur ou de gaz chauds fait courir au personnel. Sans insister ici sur ces cas extrêmes, il est instructif de rapprocher de l'accident du bateau de Brest, non sous le rapport des causes, mais sous celui des effets, un grave accident arrivé, le 19 fé-

vrier 1896, à bord d'un bateau de pêche à vapeur du port de Boulogne. On n'a pas eu à comprendre cet accident dans l'étude qui précède, parce qu'il n'a pas été produit, directement du moins, par un écrasement de tube à fumée : il est résulté du départ d'un tampon qui avait été posé dans un trou de plaque tubulaire, en attendant le remplacement d'un tube écrasé. La chaudière était, comme la précédente, du type marin à retour de flamme, et le diamètre de ses tubes mesurait 75 millimètres environ. Le tamponnage était tout à fait vicieux : au lieu d'employer deux tampons reliés par un tirant, on avait bouché les ouvertures du tube dans l'une et l'autre plaques tubulaires par des tampons coniques en fer, indépendants l'un de l'autre, et simplement chassés de force au marteau. Le tampon placé du côté de la boîte à feu, dont les conditions de pose avaient été rendues particulièrement défectueuses par l'étroitesse de cette boite, n'avait pénétré que d'une quantité minime, et ne tarda pas à être projeté sous l'action de la pression intérieure. On voit que l'ouverture offerte au flux de vapeur et d'eau était sensiblement la même que si un tube à fumée s'était fragmenté en grand. Deux hommes se trouvaient dans la chambre de machine, l'un d'eux couché à $1^{m},75$ de distance de la façade de la chaudière. Ils furent tous les deux retrouvés morts : celui-ci paraissait n'avoir pas bougé ; l'autre gisait devant le foyer, le bras gauche passé dans l'un des boujons de l'échelle donnant accès sur le pont.

II. — Accidents provenant des tubes de 10 centimètres de diamètre et plus.

Le premier de ces accidents, survenu à Lille le 18 mars 1888, doit être mis à part comme entièrement différent des autres. La chaudière n'était pas un générateur

tubulaire ordinaire; imaginée par un chaudronnier en cuivre, chez qui elle fit explosion à la première mise en feu, elle était verticale, à foyer intérieur, et son foyer était surmonté d'un tube à fumée unique, de 2 mètres de hauteur, assemblé au ciel du foyer et au fond supérieur du corps de chaudière au moyen de brides. Le diamètre de ce tube atteignait 33 centimètres, sauf aux deux bouts où il se réduisait à 22 centimètres. Il était en cuivre de 3mm,7 d'épaisseur seulement, et entouré sur presque toute sa hauteur par une ailette héliçoïdale formée d'une bande de fer de 10 centimètres de largeur et 2 millimètres d'épaisseur, qui était simplement en contact avec lui et n'était soudée qu'à ses brides terminales. Il est clair qu'un semblable appareil était incapable de fonctionner sous la pression de 5 kilogrammes pour laquelle son inventeur avait prétendu le construire. Au premier essai, quand la pression atteignit 4 1/2 kilogrammes, le tube s'écrasa à l'intérieur du ruban hélicoïdal, en s'arrachant partiellement de ses brides. Devant la porte du foyer ouverte, le chauffeur était occupé à charger le feu : il fut brûlé mortellement. Un autre chauffeur, qui se trouvait plus loin, le fut d'une manière légère. L'inventeur de cet étrange appareil et un ouvrier chaudronnier, qui se trouvait auprès de lui, reçurent sur la tête des tuiles arrachées du toit.

Laissons de côté ce fait de nature toute particulière. Les 7 autres accidents graves, qu'il faut maintenant analyser, portent uniformément sur des chaudières horizontales semi-tubulaires, pourvues de tubes à fumée en laiton de 10 à 12 centimètres de diamètre. Les 6 premiers, survenus de 1889 à 1895, constituent rigoureusement une série; ils ont entre eux la parenté la plus étroite. Tous eurent lieu dans des usines du Calvados, de l'Eure et de la Seine-Inférieure, et furent donnés par des chaudières provenant d'une même maison de construction. Voici d'abord, pour la clarté de la suite, la date et le lieu de

chacun de ces accidents, ainsi que les principales données relatives à la constitution des chaudières :

DATE de L'ACCIDENT	DÉSIGNATION de L'USINE	CAPACITÉ de la CHAUDIÈRE	TIMBRE	TUBES A FUMÉE		
				NOMBRE	DIAMÈTRE	ÉPAISSEUR
3 janv. 1889	Fabr. de draps, à Lisieux.	16m³,3	5kg	24	12cm	3mm
14 nov. 1890	Fabr. d'huile, à Honfleur.	8 ,5	6	24	11	2 ,7
3 mai 1893	Papeterie, à Pont-Audemer	11	6	18	12	2,8 à 3
11 déc. 1893	Filature, à Glos.........	1 ,3	6	14	11	3
9 mars 1895	Minoterie, à Rouen......	13 ,7	6	18	12	3
22 oct. 1895	Teinturerie, à Elbeuf...	26 ,7	7	36	12	3

Pour les plus grands de ces générateurs, les tubes étaient fort longs : 6m,2 à Lisieux, 6m,9 à Elbeuf.

Les ruptures sont toujours du côté de l'entrée des gaz chauds. Dans 3 cas les tubes rompus appartiennent à la rangée supérieure ; dans 2 cas, à la deuxième rangée à partir du haut ; dans 1 cas, à ces deux rangées à la fois. Dans la majorité de ces accidents, la rupture est limitée à un seul tube ; toutefois, dans l'accident du 11 décembre 1893, à Glos, 8 tubes se brisent, savoir 5 sur 6 composant la rangée supérieure, et 3 sur 4 composant la rangée suivante, ou rangée médiane du faisceau. A Elbeuf (accident du 22 octobre 1895), outre la rupture qui a déterminé l'accident et qui porte sur le premier tube à gauche de la rangée supérieure, on trouve le tube voisin déformé, les 2 suivants décapités dans la plaque tubulaire d'arrière, et le dernier tube de la même rangée rompu aussi suivant une section droite, à 5 centimètres de la même plaque tubulaire.

Sur les fragments de la pièce, ou sur les lèvres de la plaie, on constate parfois d'excessives réductions d'épaisseur : ainsi dans l'accident du 9 mars 1895 à Rouen, les bords de l'enlevure n'offrent plus que de 1 1/2 à 2 millimètres d'épaisseur, tandis que l'épaisseur primitive du tube

était 3 millimètres ; en un point seulement on trouve une épaisseur restante de 2 1/2 millimètres. C'est ce que montrent les *fig.* 6 à 8, Pl. 28, qui donnent trois vues du tube brisé. Pour les 8 tubes rompus le 11 décembre 1893 à Glos, les épaisseurs restantes n'étaient aussi que 1 1/2 à 2 millimètres, au lieu de 3, cote primitive. A Honfleur (accident du 12 novembre 1890), on relève 2^{mm}, 1^{mm},6 sur le fragment détaché du tube : l'épaisseur primitive était 2^{mm},7. D'autres fois l'amincissement est moins avancé : on trouve de 2^{mm},3 à 2^{mm},7, au lieu de 3, cote primitive, sur le fragment détaché du tube dans l'accident de Lisieux (3 janv. 1889) ; 2^{mm},2 à 2^{mm},6, au lieu de 2,8 à 3, dans l'accident de Pont-Audemer (3 mai 1893) ; 2^{mm},4 à 2^{mm},9 au lieu de 3, ainsi que le montre la *fig.* 9, Pl. 28, dans celui d'Elbeuf (22 oct. 1895). Dans ce dernier cas, la rupture de tube qui est considérée comme ayant déterminé l'accident a eu pour conséquence le décapitage de 3 autres tubes : or, sur ces derniers, comme sur l'autre, les épaisseurs ne s'abaissaient pas au-dessous de 2^{mm},4. Il ressort de là, d'une part, que les épaisseurs primitives étaient notoirement insuffisantes : car perdre 1 millimètre sur 3, c'est sans doute perdre 1/3 du total, mais ce n'est en valeur absolue qu'une faible ablation de matière, et la sécurité ne devrait pas être à la merci d'une usure de cet ordre. D'autre part, il résulte des caractères communs de ces ruptures que ce n'est pas seulement l'usure, mais concurremment avec elle l'altération du métal des tubes, qui compromet la résistance et amène l'accident.

En effet, il est à remarquer que, dans les accidents causés par ces tubes de grand diamètre, l'accident ne consiste jamais dans un simple aplatissement du tube ; celui-ci se brise, il s'y fait une brèche, de préférence sur la moitié supérieure. Pour le tube de l'accident de Lisieux, dont l'épaisseur, primitivement égale à 3 millimètres, était encore 2,3 à 2,7 dans la région où il s'est crevé, un frag-

ment de la partie supérieure se détache presque et se rabat vers le dedans. A Honfleur, le tube rompu « présentait à proximité de la plaque tubulaire d'arrière, sur le côté droit, une ouverture de $0^m,54$ de long, accompagnée de deux petites fissures transversales; mais il n'avait pas été sensiblement déformé; il semblait qu'un fragment de métal s'en fût détaché par éclatement (*). » Ce fragment n'a pas été retrouvé. A Pont-Audemer, les fragments retrouvés, assez fortement déformés, ne reconstituent pas en entier la partie enlevée du tube. À Glos, où 8 tubes se brisent, on ne retrouve que 3 fragments de 8 ou 10 centimètres de côté. A Rouen, l'avarie mesure 85 centimètres de longueur, et l'on ne retrouve aussi qu'une partie des morceaux. La brèche atteint enfin une longueur de 90 centimètres dans le grave accident d'Elbeuf; sur cette longueur, la moitié supérieure du tube avait été réduite en morceaux dont on ne retrouve qu'une partie, tandis que la moitié inférieure, fragmentée aussi, peut être reconstituée à peu près en entier.

L'âge joue naturellement un rôle, qu'on discerne parfois d'une manière assez nette. La chaudière de Pont-Audemer, par exemple, avait été installée en 1870. Huit ans après (juin 1878), les tubes commencent à faiblir : on en répare 2; puis, on en répare encore 1 en janvier 1880, 4 en avril 1882. En 1886, c'est-à-dire huit ans après la première de ces réparations, on est amené à renouveler complètement la tubulure. Cette tubulure neuve dure sept ans telle quelle; après quoi, en 1893, nouveau remplacement d'un tube le 4 avril, et enfin, le 3 mai, l'accident survient.

Dans d'autres cas, c'est seulement au bout d'une quinzaine d'années que les accidents se produisent : celui d'Elbeuf (22 octobre 1895) affecte une chaudière qui

(*) Rapport de M. l'Ingénieur en chef des Mines Olry.

avait été installée en 1881, et dont les tubes dataient de l'origine. A Glos, la durée est encore plus longue, dix-huit ans environ (1875-1893) ; mais aussi était-on arrivé à un état singulièrement précaire, puisque 8 tubes cèdent à la fois. La chaudière de Lisieux (accident du 3 janvier 1889) datait de 1869 : en 1884, soit au bout de quinze ans, elle subit une importante réparation dans laquelle 11 de ses tubes, sur 24, sont remplacés, les autres raboutés. Celle de Honfleur (accident du 14 novembre 1890) avait été construite en 1866 ; quinze ans après, en 1881, lors d'une épreuve hydraulique, 2 de ses tubes s'aplatissent et un troisième se déforme à une extrémité ; on remplace les deux premiers, on raboute le troisième. — Dans le cas de la chaudière de Rouen, les premières détériorations de tubes surviennent au bout de moins longtemps : la mise en service de cet appareil date de janvier 1874, et dès mai 1877 nous voyons remplacer 4 de ses tubes ; un tube est encore remplacé et 6 autres raboutés en 1881 ; puis la chaudière marche ainsi dix ans. Vers la fin de 1891, lors d'une épreuve hydraulique, 3 tubes s'écrasent et sont remplacés. L'accident se produit le 9 mars 1895.

Parfois la tubulure donne des signes de faiblesse peu de temps avant l'accident. A Lisieux, le 25 décembre 1888, plusieurs tubes s'étant mis à fuir du côté de la plaque tubulaire d'arrière, on soumet l'appareil à un essai hydraulique : deux tubes s'aplatissent, l'un à la rangée supérieure, l'autre à la rangée inférieure. On les remplace et on remet en marche ; l'accident arrive le 3 janvier. A Glos, huit mois avant l'accident, on avait fait remplacer un des tubes de la rangée supérieure, par un chaudronnier qui vraisemblablement, soit incompétence, soit insouciance, n'avait pas examiné l'état du reste.

L'hypothèse d'une surchauffe par suite d'abaissement du plan d'eau, comme cause directe des ruptures, devait être et a été discutée dans chacun des 6 cas dont il s'agit. Les

ruptures affectent en majorité la rangée du haut du faisceau, et aucun ne descend plus bas que la seconde rangée : cette circonstance semble donner, au premier abord, de la valeur à semblable hypothèse. Mais, dans aucun des 6 cas, des indices positifs n'en démontrent l'exactitude; dans plusieurs elle se heurte à des contre-indications. — La première fois, pour l'accident du 3 janvier 1889 (Lisieux), on avait précisément affaire à une avarie placée sur le dessus d'un tube de la rangée supérieure ; l'amincissement n'était pas extrême, car les parties examinées, qui, à la vérité, ne reproduisaient pas la totalité de la pièce, ne montraient pas d'épaisseur inférieure à $2^{mm}.3$; il avait été signalé que l'indicateur magnétique n'était pas en parfait état, que le tube de verre avait un tuyau de communication d'eau assez long, présentant des courbes et des contre-courbes ; l'année d'auparavant, ce tuyau avait été trouvé bouché. Enfin, l'enquête du Service des Mines, qui n'avait pas reçu de l'industriel l'avis réglementaire, n'a été commencée que six jours après l'événement : il se pouvait que certaines traces positives d'une surchauffe par manque d'eau eussent disparu dans l'intervalle. Il était donc naturel d'accueillir comme explication vraisemblable la supposition d'une insuffisance d'alimentation. Au second accident (Honfleur, 14 novembre 1890), c'est la deuxième rangée qui subit l'avarie, laissant intacte la rangée supérieure ; et, si aucune preuve ne rend impossible l'hypothèse d'un défaut d'eau, aucun indice ne permet de la retenir. — Dans l'enquête relative à l'accident qui vient ensuite (Pont-Audemer, 3 mai 1893), il est constaté que les appareils indicateurs du niveau de l'eau sont en bon état ; le tube crevé est l'un de ceux de la rangée du haut ; mais M. l'ingénieur des Mines Boëll remarque que ces tubes ont une légère pente d'avant en arrière, de sorte que dans le cas d'un abaissement du plan d'eau c'est l'extrémité opposée à celle où la rupture

s'est produite qui aurait dû se trouver d'abord surchauffée. A Glos, où presque tous les tubes de la rangée du haut et de celle du milieu se sont brisés, le directeur de l'usine déclare que le sifflet du flotteur s'est fait entendre quelques instants après l'explosion, pendant que la chaudière se vidait ; le carneau porte des traces de lavage produites par l'eau s'échappant des tubes rompus. A Rouen, l'accident survient, il est vrai, à l'heure d'une vidange de la chaudière, et l'opération devait être commencée, car on a retrouvé les robinets de vidange ouverts ; toutefois, c'est un tube de la rangée du milieu qui se brise, tandis que la rangée supérieure reste intacte, et il en résulte une abondante projection d'eau, ainsi qu'en témoigne, le lendemain encore, le sol de la chaufferie : comme, d'autre part, la profonde usure de ce tube suffit bien à en expliquer la rupture, on voit qu'il n'y a point de raison suffisante de penser que la vidange ait influé sur l'événement, sinon comme circonstance tout à fait accessoire, par l'ébranlement qu'il était de nature à communiquer à la chaudière. — Pour l'accident d'Elbeuf enfin, l'enquête met en lumière des circonstances qui exposaient la chaudière au danger de manquer d'eau : le tuyau de communication d'eau entre le tube de verre et le générateur présentait un point bas, et le flotteur magnétique avait son sifflet avertisseur hors de service depuis longtemps, le collier porteur de la came qui doit actionner ce sifflet étant devenu fou le long de la tige par suite du desserrage de la vis de fixation ; de plus, l'ouvrier chargé de l'alimentation était un mécanicien dont le poste était en dehors de la chaufferie. Aucun indice cependant ne démontre que ce manque d'eau possible ait eu lieu. — Enfin et surtout, si l'on envisage d'une manière générale cette série de 6 accidents, il apparaît qu'ils ont entre eux une parenté étroite, et que les causes essentielles de leur ensemble ne doivent guère être cherchées ailleurs que dans

les vices, communs à tous, de la constitution et de l'état de leurs tubulures.

Le septième accident a eu lieu dans l'Oise, à Creil, le 20 août 1896. L'appareil était cette fois d'un constructeur différent. Timbré à 6 kilogrammes, son corps cylindrique était traversé par 14 tubes à fumée de 10 centimètres de diamètre et $2^m,5$ de longueur. Dans la construction primitive, qui datait de 1882, ces tubes étaient tous en laiton et n'avaient qu'une épaisseur de 2 1/2 millimètres. Depuis lors une partie des tubes en laiton avait été remplacée par des tubes en fer; mais il restait encore des tubes en laiton de l'origine, et c'est la rupture de l'un d'eux, situé dans la rangée supérieure, qui a causé l'accident. On voit que ce tube avait une quinzaine d'années de service, durée dont on a déjà vu plus haut divers exemples. Il s'est brisé en de nombreux morceaux, qui n'ont pu être tous retrouvés; sur ceux qu'il a été possible d'examiner, les épaisseurs variaient de 2 1/2 à 1 1/2 millimètre. « Les bris se sont faits suivant des cassures nettes, très cristallines, sans reploiement sensible du métal (*). » A la différence des accidents précédents, la fragmentation n'était pas localisée à l'extrémité du tube voisine de l'entrée des gaz; elle s'étendait sur la plus grande partie de la longueur de la pièce, et deux morceaux, longs de 20 et de 35 centimètres étaient encore attenants à l'une et à l'autre plaques tubulaires.

Une heure avant l'accident, le chauffeur avait opéré une chasse d'eau, qui avait abaissé le niveau d'une manière exagérée, car le sifflet du flotteur s'était fait entendre. Le contremaître était accouru au bruit et avait recommandé au chauffeur de ne pas trop vidanger le générateur. Le niveau de l'eau était, paraît-il, convenablement remonté.

(*) Rapport de M. l'ingénieur des Mines Aubert.

et la pression était de 5 kilogrammes, quand tout à coup l'avarie survint.

Il paraît difficile de dire si cet abaissement temporaire du plan d'eau a joué un rôle notable dans les causes de l'accident. Peut-être a-t-il eu pour effet une légère surchauffe qui aurait été insuffisante à elle seule pour amener une rupture, mais qui, agissant sur un tube de grand diamètre, de faible épaisseur, aminci par l'usure et aigri au cours de quatorze années de service, a déterminé une rupture d'équilibre toute prête à se produire.

S'il est instructif de se rendre compte des causes des différents accidents qui précèdent, il ne l'est pas moins d'envisager le détail des conséquences de chacun d'eux. Reprenons, sous ce point de vue, l'examen des faits caractéristiques. — A Lisieux, 1 seul tube crève; le générateur était en plein fonctionnement, et le chauffeur en train de fermer les portes du foyer. L'ouverture de ces portes offre donc une issue au flux, qui, passant par le carneau des bouilleurs, vient brûler grièvement le chauffeur au visage et aux mains. Les portes de la boîte à fumée, sur la façade, ne se sont pas ouvertes. — A Honfleur, on a de même 1 seul tube qui crève, et une issue facile offerte au flux par la porte du foyer : non pas cette fois que l'on fût en train de manœuvrer cette porte; mais c'était une porte battante vers l'extérieur et simplement appliquée contre l'ouverture, sans verrou ni loquet. C'est donc par là, comme dans le cas précédent, que le jet dangereux se fit jour : seulement le chauffeur n'était pas devant, et si les dispositions du local lui avaient permis de se retirer promptement sans s'approcher de la direction envahie, l'accident aurait pu être sans conséquence. Mais il n'en était point ainsi : le chauffeur se trouva séparé par le jet brûlant de l'unique porte de sortie du local. Il lui était à peu près impossible de fuir, et il fut brûlé mortellement.

Même placé près d'une porte de sortie, on est exposé

aux brûlures les plus funestes, si l'on est directement frappé par le jet dangereux. C'est ce qu'a tristement prouvé l'accident de Glos (11 décembre 1893). Il est vrai que dans ce cas le flux de vapeur, d'eau et de gaz du foyer dut être particulièrement important, 8 tubes, sur 14 que contenait le générateur, s'étant brisés à la fois. Une ouvrière de dix-sept ans se trouvait en face du fourneau près de la porte de la chaufferie ; atteinte par les fluides brûlants et par le combustible projeté, cette jeune fille est morte quelques heures après.

A la minoterie de Rouen (9 mars 1895), nous retrouvons un accident mortel causé par la rupture d'un seul tube, et très comparable, sous le rapport des circonstances qui en ont fait la gravité, à celui de Honfleur. Là aussi, la porte du foyer était battante et sans verrou ni loquet ; le cendrier avait de plus son ouverture béante ; bien que la porte de la boîte à fumée, convenablement loquetée, ne se soit pas ouverte, on comprend donc que le flux brûlant ait envahi la chaufferie au lieu de s'évacuer tout entier vers la cheminée. La chambre de chauffe, représentée par les *fig.* 4 et 5, Pl. 28, était une fosse profonde, formant avec la cave à charbon contiguë un ensemble de locaux peu aérés, peu éclairés, n'ayant pour toute issue qu'une échelle de meunier placée dans la chaufferie même et près des générateurs. L'accident est arrivé à huit heures et demie du soir, et ce n'est qu'à neuf heures qu'on put pénétrer dans ces locaux et porter secours à la victime, après avoir aéré le souterrain en ouvrant des regards qui existaient à la voûte de la cave, fermés par des plaques de fonte. On trouva le malheureux chauffeur dans cette cave, « tombé contre un tas de charbon où il avait buté en fuyant le jet de vapeur et d'eau bouillante qui avait ouvert la porte du foyer et inondé la chaufferie (*). »

(*) Rapport de M. l'Ingénieur des Mines Herscher.

Le plus meurtrier des accidents a été celui d'Elbeuf (22 octobre 1895). La rupture a affecté 4 tubes. La porte du foyer était, cette fois encore, battante vers l'extérieur, sans verrou ni loquet. Contrairement au décret du 29 juin 1886, la batterie qui comprenait 3 grandes chaudières n'avait pas de clapets d'arrêt de vapeur, et il résulte des indications d'un manomètre enregistreur qu'il y a eu déversement de la vapeur des chaudières intactes. Enfin les dispositions de la chaufferie laissaient à désirer : la chambre de chauffe, ainsi que l'indiquent les *fig.* 1 à 3, Pl. 28, était une fosse de $2^m,5$ de largeur seulement, continuée il est vrai, en regard des générateurs, par des soutes à charbon souterraines : mais ces soutes n'avaient aucun escalier ni échelle de sortie, et la chambre de chauffe elle-même n'avait pour toute issue qu'un escalier situé dans sa partie de droite et dont le pied était presque en face du générateur qui a donné lieu à l'accident.

Lors de la rupture des tubes, le mécanicien chargé de l'alimentation était sur le massif des chaudières ; 2 chauffeurs et 1 aide se trouvaient dans la chambre de chauffe. Le mécanicien s'enfuit par la salle des machines, d'où il sauta par une fenêtre dans la cour, sain et sauf. L'aide chauffeur qui se trouvait tout à fait à droite de la chambre de chauffe passa sous l'escalier, gagna la petite cave au charbon à moitié pleine, et, montant sur le charbon, put soulever la plaque en fonte d'un regard : là, il fut secouru : c'est celui qui n'a été que blessé.

Mais les 2 chauffeurs, qui se trouvaient plus à gauche dans la chambre de chauffe, cherchèrent à gagner, pour s'enfuir, l'unique issue constituée par l'escalier : dans ce trajet ils rencontrèrent le jet brûlant, et ce fut fait d'eux. Ils ne purent traverser ce jet ; l'un d'eux s'enfuit vers la gauche et alla tomber au fond de la cave sans issue ; dix ou douze minutes s'écoulèrent avant qu'on pût le secourir ; il était mourant. L'autre parvint à gagner la petite cave

et à atteindre le tampon par où l'aide chauffeur s'était sauvé ; il fut à son tour tiré par ce chemin au dehors ; mais il mourut le lendemain.

Au dernier accident, celui de Creil (août 1896), la boîte à fumée présentait sur la devanture du fourneau deux portes dont chacune n'était maintenue que par un loquet. Celle de droite, sous l'action du jet mis en mouvement par la rupture d'un seul tube, s'ouvrit en brisant cette attache insuffisante, et le chauffeur fut atteint de brûlures nombreuses et graves : circonstances à rapprocher de celles de l'accident qui a eu lieu à bord d'un bateau, près de Brest, en 1894, et qui a coûté, comme on l'a vu plus haut, la vie au mécanicien, bien que le tube mesurât moins de 7 centimètres de diamètre.

III. — Remarques générales.

On s'est borné, dans ce qui précède, à rapprocher les faits pour les laisser parler d'eux-mêmes. On peut les résumer en disant que les tubes à fumée en laiton donnent lieu, après un temps très variable suivant leurs conditions de service, à des ruptures dont les conséquences, — légères en général, et sérieuses parfois lorsqu'il s'agit des tubulures de locomotives, — prennent un caractère de plus en plus grave à mesure que le diamètre des tubes augmente ou que la disposition des générateurs et leurs conditions d'emplacement sont moins favorables à l'innocuité des avaries. Les deux causes systématiques auxquelles il convient de rapporter ces ruptures sont l'amincissement par usure, s'exerçant d'ailleurs sur des tubes souvent trop minces dès l'origine, et une altération des propriétés du laiton au cours de l'usage. Il arrive parfois avec les tubes de moins de 10 centimètres de diamètre, et toujours avec ceux dont le diamètre atteint ou excède 10 centimètres, que le

tube se brise et s'émiette au lieu de s'aplatir, à tel point que l'enquête ne retrouve pas la totalité des morceaux ; l'ouverture offerte au flux de vapeur et d'eau, dans chacune des plaques tubulaires, équivaut alors à la section tout entière du tube, et l'accident a des conséquences toujours graves, presque toujours mortelles.

En particulier, une expérience qui n'est déjà que trop longue condamne absolument l'emploi des tubes à fumée en laiton du genre de ceux que nous avons vus se fragmenter dans une série de générateurs semi-tubulaires de la région normande.

En présence des tristes résultats de cette expérience, on apprécie comme particulièrement bien justifiée l'interdiction de l'emploi du laiton pour les tubes à fumée de plus de 10 centimètres de diamètre, prononcée en Autriche par l'ordonnance du 1er octobre 1875, en Italie par le décret du 3 avril 1890, en Allemagne par le règlement du 5 août de la même année. Cet emploi doit être décidément considéré comme un vice de construction.

Sans entrer ici dans l'examen des qualités et des défauts des tubes à fumée en acier ou en fer, on notera que, durant la période considérée, de 1888 à 1896, aucun accident de personne, provenant de la rupture d'un de ces tubes, n'a été signalé au Ministère des Travaux publics. Le 13 avril 1893, à Chantenay (Loire-Inférieure), 2 ouvriers ont été blessés, parce que l'un d'eux avait entrepris de sortir les emmanchements d'un tube amovible en fer, sans que la pression dans la chaudière fût tombée à zéro ni que l'outillage dont il disposait fût approprié au système du tube ; mais ce fut le déplacement inopiné de la pièce, non sa rupture, qui donna naissance à l'accident.

L'étude qui précède confirme l'importance qui s'attache à tenir solidement fermées les portes de foyers, de cendriers, de boîtes à fumée. On ne saurait trop encourager un usage qui commence à se répandre, et qui

consiste à disposer les portes de foyer et de cendrier de manière qu'un refoulement de gaz, dirigé de l'intérieur du fourneau vers la chambre de chauffe, tende à fermer ces portes et soit toujours libre de le faire (*). Quant aux portes de boîte à fumée, aucune difficulté ne s'oppose à ce qu'on les barricade aussi solidement qu'on le désire. En certains cas on devra, conjointement avec ces utiles précautions, munir le fourneau de trappes d'expansion de vapeur convenablement placées et disposées.

Enfin, l'étude qui vient d'être faite montre, une fois de plus, combien il est indispensable que les chaufferies soient larges, bien ventilées, que leurs issues soient faciles, suffisamment nombreuses et bien situées. Il importe notamment que, de tout point d'une chambre de chauffe, on ait la faculté de s'enfuir à volonté dans l'une ou l'autre des deux directions opposées AA_1, AA_2 (*fig.* 10, Pl. 28) perpendiculaires aux axes G_1M_1, G_2M_2, G_3M_3 des générateurs. De la sorte, si un jet brûlant survient dans la direction approximative d'un de ces axes, on n'a qu'un minimum de chemin à faire pour se jeter hors de cette direction, et ensuite on peut gagner l'extérieur sans avoir à se rapprocher du flux dangereux. Il est à remarquer qu'une issue placée en M_1 peut être aussi salutaire qu'une issue en P_1 pour un chauffeur placé devant le générateur G_1, si un accident survient à l'un des générateurs G_2 ou G_3, mais non pas si l'accident affecte G_1 lui-même ; car supposons qu'un jet brûlant fasse irruption dans la direction G_1M_1 : le chauffeur placé devant G_1, pour sortir par M_1, aura à se mouvoir dans la direction

(*) Parmi les conditions que l'Administration supérieure a maintenant coutume d'imposer, lorsqu'elle accorde, par application de l'article 35 du décret du 30 avril 1880, des dérogations d'emplacement, il est spécifié que les portes de foyers et les fermetures de cendriers seront disposées de manière à s'opposer efficacement *et automatiquement* à l'irruption d'un flux de vapeur supposé mis en liberté à l'intérieur du fourneau.

du jet ; s'il est plus à gauche, il pourra même être coupé par le jet de tout chemin de retraite. On ne saurait, à une chaufferie, donner trop ni de trop faciles issues ; toutes pourront être utiles, suivant la variété des circonstances que l'on ne prétend pas prévoir exactement *a priori*. Mais le raisonnement qui précède, d'accord avec l'examen comparé des accidents ci-dessus décrits, montre que c'est aux deux extrémités de la chambre de chauffe, dans les murs d'about P_1 et P_2, qu'il est surtout et absolument nécessaire de ménager des issues aisément praticables et judicieusement placées.

CHRONIQUE.

N° 33

Note sur les travaux de régularisation du Tibre dans la traversée de Rome

Par M. ALEXANDRE BETOCCHI, Inspecteur général du Génie civil italien, en retraite.

Les grands travaux de régularisation du Tibre dans la traversée de Rome, en vue de soustraire cette ville aux inondations, furent déclarés œuvre nationale en 1875.

Les travaux furent entrepris au commencement de 1877.

Le Parlement a alloué pour leur exécution, par quatre lois successives, la somme totale de 105 millions.

Sur cette somme on a dépensé jusqu'ici au-delà de 73 millions.

Les travaux consistent :

a. — Dans l'élargissement et la régularisation de la section, portée à la largeur constante de 100 mètres au niveau des basses eaux, et dans la construction, dans la ville, des murs de rive, revêtus en pierre de taille, avec fruit de 1/6, sur une longueur totale de 8.313 mètres, sur lesquels 7.440 mètres sont construits et 873 mètres restent à construire. L'exécution de ces derniers est retardée par le fait qu'elle oblige à démolir une partie du grand hôpital du Saint-Esprit, en sorte qu'il faut, pour remplacer cet hôpital, en préparer un autre, ce à quoi l'on pourvoit par la construction de la Clinique générale.

b. — Dans la régularisation, comme ci-dessus, de la section, sur deux tronçons, l'un supérieur, l'autre inférieur à Rome, et dans la construction des levées en terre correspondantes, revêtues en pierre, sur une longueur totale de 10.802 mètres, sur lesquels 6.212 mètres sont déjà construits et 4.590, restant à construire, sont en partie en cours d'exécution.

c. — Dans l'approfondissement du lit à exécuter sur une lon-

gueur de 7.592 mètres, sur lesquels 2.887 mètres sont faits et 4.705 mètres restent à faire.

d. — Enfin dans la construction des collecteurs qui doivent recueillir les eaux tombant à droite et à gauche du Tibre, et qui doivent les écouler dans le Tibre en aval de Rome, collecteurs dont la longueur totale atteint 35.076 mètres, sur lesquels 12.805 sont achevés. On travaille aux 22.271 qui restent à faire.

De plus, on a construit quatre nouveaux ponts fixes (dont trois aux soins et aux frais de la municipalité) et un pont provisoire; et on a élargi et approprié les quatre ponts existants.

Les crues de l'hiver dernier ont démontré l'excellent effet des travaux exécutés jusqu'à ce jour. A égalité de hauteur des eaux à l'hydromètre d'Orte, qui se trouve à environ 118 kilomètres en amont de Rome, la crue a été, dans cette ville, de $2^{m},123$ plus basse qu'elle n'eût été antérieurement à ces travaux.

Juin 1897

N° 34

Note sur l'altération des métaux par l'eau de mer

Par M. LIDY, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Dans le cours des travaux de dragages, que l'on exécute actuellement en rade de Brest, on a retiré du fond une grande quantité d'objets métalliques.

Seuls les métaux précieux (or ou argent) ont été trouvés en parfait état; quant aux métaux communs, ils ont subi des décompositions plus ou moins profondes, dont il nous a paru intéressant de faire connaître les caractères, en indiquant, quand elle a pu être déterminée approximativement, la durée probable de leur séjour dans l'eau de mer. Ces objets sont en bronze, en fonte ou en fer; nous les examinerons successivement en donnant pour chacun d'eux les renseignements historiques qui ont pu être retrouvés, leur aspect extérieur, les compositions chimiques déduites des analyses faites au laboratoire de la pharmacie centrale de la Marine, les résultats des essais mécaniques et les conclusions qu'on peut en tirer au sujet de la durée probable des ouvrages métalliques exposés à la mer.

1° **Bronze**. — Dans cette catégorie figurent plusieurs petits canons en bronze de modèle moderne; l'un d'eux porte la date de l'an X, fonderie de Toulon; ils sont très peu altérés, et leur immersion doit être relativement récente. Un objet plus intéressant est la volée d'une arquebuse à croc en bronze d'un modèle qui a été en usage de 1552 à 1600, et dont le Musée d'Artillerie possède deux spécimens. Cette arquebuse a dû vraisemblablement être immergée en 1594. A cette époque, les Espagnols occupaient la presqu'île de Quélern et avaient établi un fort sur la pointe du Goulet, qui est située en face du Portzic et qui porte encore aujourd'hui le nom de Pointe-Espagnole. Ce fort fut assiégé et pris, le 17 novembre 1594, par les troupes que commandait le maréchal d'Aumont; la flotte, composée de nombreux bâtiments français, anglais et flamands, prêtait au maréchal son concours, et quelques navires furent très éprouvés par le feu plongeant des batteries espagnoles. On peut donc vraisemblablement supposer que l'ar-

quebuse retrouvée a été enlevée et jetée à la mer à la suite de ce combat. Elle aurait donc à peu près trois cents ans de séjour dans l'eau de mer.

La partie qui en a été relevée a, à peu près, 1 mètre de long; sa section est octogonale; son calibre, de 1 pouce; sauf des déformations provenant de chocs dont la trace est restée visible, sa forme, comme on peut en juger par le dessin de la page 340 (*fig.* 1), n'a pas été altérée. Les arêtes des moulures sont restées nettes, quelques coquillages se sont fixés aux extrémités à l'intérieur; la surface extérieure est recouverte d'une couche granuleuse presque cristalline, de couleur noire et présentant des facettes brillantes. Cette couche n'a guère que 1/2 millimètre d'épaisseur; elle se détache facilement par le choc; elle est composée de sulfures de cuivre et d'étain.

Quant au métal même de l'arquebuse, il répond aux compositions suivantes :

	Surface	Intérieur
Cuivre	80,3	82,9
Sulfure de cuivre	9,8	7,5
Étain	9,7	9,4
Plomb	traces	traces

Ce métal devait être du bronze pur à 90 0/0 de cuivre; la proportion de sulfures qui y est contenue provient évidemment pour la plus grande partie d'une insuffisance de raffinage du cuivre. Cependant la comparaison des résultats fournis par la pellicule extérieure, le métal superficiel et les couches intérieures, montre une progression des sulfures et semble indiquer qu'une partie de ceux-ci peut provenir d'une attaque postérieure à l'immersion. Les vases draguées en rade contiennent, en effet, toujours une certaine quantité d'hydrogène sulfuré; en quelques endroits, le dégagement de ce gaz était assez abondant pour noircir presque instantanément des peintures fraîches ou des objets d'argent, à bord des dragues.

L'intérêt historique que présente l'arquebuse, dont le Musée de la Marine ne possède pas d'échantillon, n'a pas permis d'autres essais.

Nous estimons cependant que le bon état de conservation, la faible proportion de matières étrangères qu'elle contient, indiquent que les objets en bronze d'une composition analogue, c'est-à-dire ne contenant que des traces de plomb, de fer ou de zinc, sont susceptibles d'une durée considérable.

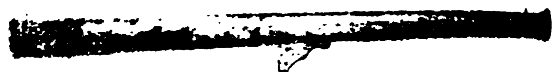


Figure 1.

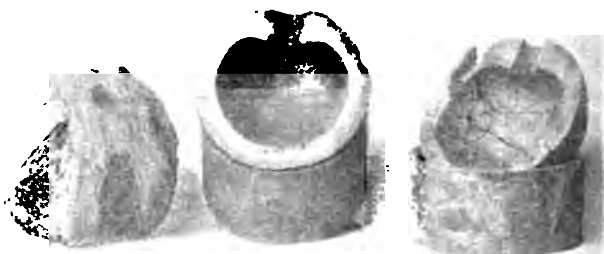


Fig. 4 Fig. 2 Fig. 3

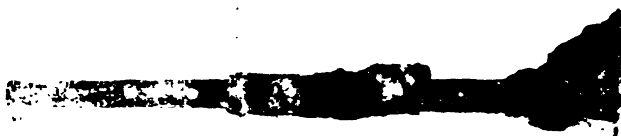


Fig. 5

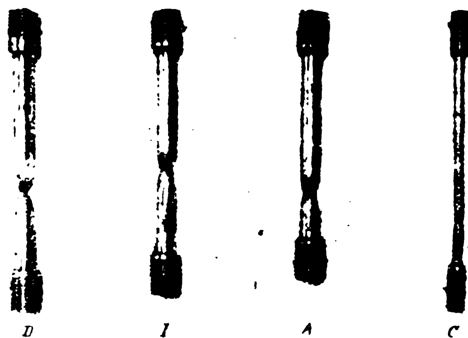


Fig. 6.

On peut signaler cependant une tradition locale contraire : on raconte que des plongeurs de la Marine ont retiré du fond des canons provenant de la batterie supérieure du vaisseau *Golymin*, coulé dans le Goulet au siècle dernier. Ces canons étaient en bronze, et ils étaient tellement altérés qu'on pouvait les couper au couteau. Cette tradition doit être évidemment erronée, tout au moins quant à la nature du métal; il est probable que les canons étaient en fonte, et qu'ils avaient subi une altération analogue à celle que nous avons constatée sur les objets de cette nature.

2° **Fonte.** — D'une épave qui a été rencontrée par des fonds de 7 mètres, il a été retiré des débris de canon et une quantité considérable de projectiles.

Ces projectiles sont presque tous des boulets creux, encore remplis de poudre et munis de fusées en bois; leur épaisseur est de 2 à 3 centimètres. La plupart ont des diamètres extérieurs de 14 centimètres et demi, comme ceux des *fig.* 2 et 3; quelques-uns ont 17 centimètres environ.

Ils étaient fixés au moyen de bandelettes de métal, qui ont disparu, sur des sabots en bois, et sont rangés dans des casiers, qui en contiennent douze; chaque projectile est assujetti dans sa case au moyen de quatre petits coins et de paille, foin ou bourre de coco.

Les recherches faites n'ont pas permis jusqu'à présent de retrouver le nom du bâtiment et la date du naufrage, qui est certainement antérieure à 1817, car l'épave est marquée sur les cartes marines levées à cette époque. Les recherches restent comprises entre *la Zélée*, coulée en 1652, et des navires de noms inconnus (janvier 1791). La durée de l'immersion peut donc varier de 100 à 240.

Les différents objets en fonte sont entourés d'une gangue dure, épaisse de plusieurs centimètres, constituée par des sulfures, du sable, de la rouille, des sécrétions calcaires. Il faut employer le marteau et le ciseau pour faire sauter cette gangue, qui se brise comme un moule et dont les objets sortent peu altérés en apparence et simplement recouverts d'un enduit visqueux noir, verdâtre, exhalant une odeur désagréable, mélange d'hydrogène sulfuré et silicié. Ils ont cependant subi une altération profonde, que révèle leur faible poids. Tous sont atteints, d'une manière plus ou moins complète, de la décomposition connue sous le nom de *ramollissement de la fonte*. La réalité de cette altération n'est pas admise d'une manière indiscutable; elle est, à notre avis, établie formellement par les échantillons que nous avons eus

sous les yeux et dont nous avons fait photographier quelques-unes (*fig.* 2 et 3).

La *fig.* 2 représente un projectile non complètement décomposé ; la *fig.* 3, un projectile complètement décomposé. Dans ce dernier la fonte altérée se coupe au couteau comme une mine de crayon tendre et donne une section noire brillante, qui est analogue à celle de la plombagine, mais qui se ternit très rapidement à l'air ; elle se brise facilement et se réduit en poudre au pilon (ce projectile a été scié avec la plus grande facilité ; en le cassant au marteau, on obtient une section terne parsemée d'une multitude de petits points brillants). Le boulet de la *fig.* 2 n'est que partiellement décomposé, la partie interne brillante et blanche sur la phototypie est encore très dure, et on a pu le polir à la lime. La couche extérieure, terne et grise, est identique à la masse du précédent. La surface polie de la couche interne est picotée d'une infinité de petits points noirs, qui indiquent un commencement d'altération. La composition du projectile 3 serait à peu près la suivante :

Fer libre	56,000
Fer combiné (oxyde, sulfure, chlorure)	12,000
Graphite	13,000
Silice	2,500
Soufre	0,325
Chlore	1,178
Phosphore	traces
Eau, chlorure de sodium (approximativement).	14,997
Densité (environ)	3,04

Il n'a pas été possible de procéder à une analyse absolument exacte, d'abord parce que la matière n'est pas homogène, ensuite parce qu'il est impossible de la conserver dans l'air, où elle s'oxyde très rapidement. Si on la pulvérise, on obtient une poudre noire brillante, qui ne se conserve que quelques instants ; cette poudre, abandonnée en petite quantité sur une soucoupe, s'échauffe jusqu'à 80° environ, émet des vapeurs et devient jaunâtre par suite de la production du peroxyde de fer. Les échantillons soumis à l'analyse se transforment donc en perdant de l'eau et en gagnant de l'oxygène, ce qui rend impossible une analyse quantitative exacte ; à ce point de vue les résultats ne doivent être considérés que comme une indication approximative. Cette altération à l'air se produit de même, mais plus lentement, sur

les projectiles entiers, même sur ceux qui sont le moins attaqués. L'oxydation détermine un gonflement, et elle a pour conséquence de faire sortir l'eau qui imprègne le projectile, sous forme d'une exsudation de gouttelettes rouillées; on peut en voir sur la *fig.* 2, à la partie intérieure correspondant au métal en apparence intact. Sur les projectiles plus décomposés, elle ne tarde pas à produire une dislocation complète, ainsi que le montre la *fig.* 3, phototypie d'un boulet qui, sorti intact de sa gangue, a été nettoyé, scié et abandonné à l'air pendant un mois. Le même effet de dislocation s'est produit sur un projectile plein, de 0m,10 de diamètre, très dur et en apparence intact. Il est actuellement divisé en cinq fragments, de forme pyramidale, séparés par des plans de grands cercles, et la fissuration continue. Le métal est cristallisé en aiguilles convergentes vers le centre. Cet ensemble de faits montre que le ramollissement de la fonte n'est pas dû exclusivement à l'oxydation du métal dans l'eau de mer, car, dans ce cas, il se produirait forcément un peroxyde avec gonflement et dislocation des couches oxydées, comme on l'observe sur le fer.

D'après les résultats de l'analyse, on peut essayer de reconstituer à peu près la nature de la fonte primitive, en admettant que le graphite, la silice et quelques traces d'autres matières (environ 16 0/0) n'ont éprouvé que peu d'altération, et que leur proportion ne se trouve modifiée que dans le rapport inverse du changement de la densité. La proportion de ces matières pouvait être primitivement de $\frac{0,16 \times 3,04}{7,20}$, soit 0,067. On peut en conclure que la fonte contenait approximativement 0,933 de fer et 0,067 de matières étrangères, dont 0,054 de graphite et 0,010 de silice. Cette composition serait celle d'une fonte grise assez graphiteuse et correspondant assez bien à la cassure à très petits grains des parties peu altérées. Les échantillons très modifiés ne renferment plus que $\frac{0,68 \times 3,04}{7,20} = 0,287$ de fer libre ou combiné; ils ont donc perdu à peu près 0,646 de fer, soit environ 69 0/0 de leur fer total.

Une unité de volume du corps primitif pesant 7,2 pouvait contenir environ 6,71 de fer et 0,48 de matières étrangères, graphite, silice, etc.; après altération elle ne contient plus que 2,06 de fer, 0,48 de matières étrangères, et un vide représentant le fer disparu (3,65 au poids); ce vide est à moitié rempli de gaz, d'eau, de sels, etc.; son volume serait de 0,468, en donnant un poids

d'environ 0,50 aux matières qui remplissent ce vide, on reconstitue la densité trouvée de 3,04.

La fonte molle altérée par l'eau de mer n'est donc plus qu'un mélange de graphite, silice, etc., avec une proportion plus ou moins grande de fer, qui doit être très divisé dans la masse, ce qui expliquerait son oxydation rapide avec élévation de température.

Quant à la nature même de cette décomposition, nous avons dit plus haut qu'on ne pouvait uniquement l'attribuer à une oxydation; l'analyse confirme cette manière de voir parce que, dans la partie interne, s'il ne s'agissait que d'une oxydation, le fer se retrouverait à l'état de fer combiné. On nous a suggéré la possibilité d'une dissolution du peroxyde dans l'eau salée; cette hypothèse ne nous paraît pas suffisante pour expliquer par simple dissolution le transport à l'extérieur des molécules de fer. On ne peut non plus attribuer un rôle actif à la poudre contenue dans le projectile, car la proportion de sulfures est très faible, et les figures montrent que l'action s'est propagée de l'extérieur à l'intérieur. Tous les éléments de la poudre se sont d'ailleurs conservés intacts; on y retrouve le salpêtre dissous dans une petite quantité d'eau, qui s'est introduite par la fusée, le charbon et le soufre, qui sont restés à l'état solide. Il n'est donc possible d'expliquer la disparition du fer par une sorte d'exosmose qu'en recourant à une action électrolytique. Il est certainement reconnu que c'est par une action de ce genre que se produit l'oxydation rapide du fer dans l'air humide, la rouille et le fer constituant un élément de pile dont le courant décompose l'eau. Une action absolument analogue se produit dans l'eau de mer, où elle est compliquée par la présence des chlorures alcalins. Une double décomposition se produit : le chlore mis en liberté au pôle positif attaque le fer en produisant un chlorure qui se transporte au pôle négatif, où il se trouve dans un milieu alcalin résultant de la décomposition de l'eau par le métal alcalin mis en liberté; le fer se précipite à l'état de protoxyde d'abord, puis se peroxyde, le chlorure alcalin se reconstitue. On voit ainsi que, si le métal est légèrement poreux, comme l'est toujours la fonte, l'action pourra se produire dans la masse même, principalement sur les parties les plus conductrices de l'électricité, et que les objets pourront, tout en étant profondément altérés, conserver leur forme jusqu'au moment où il ne restera plus pour ainsi dire qu'un squelette de graphite ou de silice que le premier choc pourra détruire. C'est ce qui se passe quand on électrolyse de la fonte dans l'eau acidulée;

le fer se dissout et se transporte au pôle négatif; il ne reste bientôt plus que le graphite au pôle positif.

Cette décomposition peut se reproduire artificiellement en électrolysant des barreaux de fonte neuve dans une dissolution de chlorure de sodium; sous l'influence d'un courant de 1/2 à 1 ampère au maximum, deux barrettes mesurant $0^m,10$ de long sur $0^m,02$ de large et $0^m,05$ d'épaisseur ont été décomposées sur une profondeur de plus de 2 millimètres; la couche décomposée présente les mêmes caractères physiques que la fonte des projectiles altérés; elle possède, comme celle-ci, la propriété de s'oxyder à l'air, avec échauffement de température. Il y a donc analogie complète entre les deux décompositions, et, bien que nous n'ayons pas poussé l'expérience jusqu'au bout, car elle eût demandé trop de temps, nous pensons que l'action se serait continuée jusqu'à disparition complète du fer. Cette décomposition totale et relativement rapide est, du reste, particulière aux projectiles; les débris des canons sont beaucoup mieux conservés. Ils ne paraissent pour ainsi dire pas altérés, et ce n'est qu'en les sondant au marteau qu'on y découvre des parties plus molles, sourdes sous le choc, et formant des sortes de plaies pénétrantes, dans lesquelles le métal est attaqué. Cette différence doit tenir à la nature du métal. Tandis que les projectiles sont de la fonte grise à grains fins, les canons paraissent formés d'une fonte blanche dure, à gros grains.

Il est probable que cette fonte plus dure et moins poreuse possède également une résistance plus grande à l'action des forces dissolvantes.

Quoi qu'il en soit, nous croyons qu'on peut déduire de ces constatations que la fonte est énergiquement attaquée par l'eau de mer et d'autant plus profondément qu'elle est plus poreuse. Les fontes dures et plus compactes ne seraient elles-mêmes pas complètement indemnes. Cette action est particulièrement dangereuse, parce qu'elle ne se traduit extérieurement que par une faible couche de rouille; la plus grande partie du peroxyde de fer, se produisant sous forme de précipité non adhérent, est diluée dans l'eau avoisinante.

L'examen du projectile représenté sur la *fig.* 2 montre que, dans la partie restée dure, l'attaque est déjà commencée. Cette partie a donc perdu une partie de son fer et par conséquent de sa résistance. Il y a tout lieu de supposer que, dès le début de l'action dissolvante de l'eau de mer, celle-ci se produit dans toute la masse et particulièrement sur les parties les plus conductrices;

le métal se trouve alors affaibli progressivement, tout en présentant un aspect extérieur rassurant, et ce n'est que par des sondages profonds et l'analyse chimique qu'on pourrait se rendre compte de la marche de l'altération, qui ne devient nettement tangible que quand la perte du fer est devenue très considérable.

3° **Fer** — Les objets en fer offrent tous le mode d'altération par dénudations successives des fibres que tout le monde a pu observer et qui est nettement accusé dans le projectile incendiaire en fer forgé de la *fig.* 4. La *fig.* 5 représente une des branches d'un femelot de gouvernail ; sur une partie de la pièce on a fait sauter la gangue qui l'entourait pour mettre à nu le métal, qui paraît mieux conservé que celui de la figure précédente ; les dimensions de la partie représentée sont d'environ 1m,30 de longueur, 0m,06 de largeur et 0m,015 d'épaisseur. Ces deux pièces proviennent de la même épave que les objets en fonte ; ils ont donc même durée d'immersion.

La deuxième branche de la ferrure du gouvernail était attaquée plus profondément. On a pu cependant y découper des barrettes d'essai (*fig.* 6), qui ont donné les résultats suivants :

Barrettes	Diamètre en m/m	Section en m/m	Charge de rupture en kg. par m/m	Allongement 0/0
A	9,55	71,63	33,35	27,27
C	4,65	16,26	28,90	10,00
D	9,55	71,63	35,87	26,43
I	9,05	64,39	31,09	19,43

Les allongements observés feraient classer les échantillons, d'après les règlements en usage dans les arsenaux, comme fers fins de la meilleure qualité. Les résistances à la rupture sont cependant inférieures, mais cette infériorité s'explique quand on examine les sections ; celles-ci présentent des vides dont quelques-uns sont visibles à l'œil nu ; à la loupe on les voit percées d'une infinité de petits trous qui comportent une réduction correspondante de la section active. La densité de ces barrettes n'est d'ailleurs que 7,2 à 7,4 ; alors que la densité normale des fers forgés est généralement voisine de 7,8.

Ces vides correspondent évidemment à du fer qui a disparu de la même manière que celui des fontes. Il y a donc, dans ce cas, deux actions : une action extérieure immédiatement visible par la production de la rouille, l'exfoliation ou la dénudation des fibres ; une action intérieure invisible, et dont le résultat est

d'amener une diminution de la résistance du métal. Cette dernière paraît plutôt faible, comparativement à la première.

Les différentes observations que nous venons d'exposer peuvent alors se résumer de la manière suivante :

Exposé à l'action de l'eau de mer, le bronze pur, qui ne contient que des traces de plomb, de fer ou de zinc, paraît doué d'une résistance considérable et, au bout de trois cents ans, n'a subi qu'une altération superficielle très légère ; on peut en déduire une conservation de très longue durée. Les fontes et les fers subissent, au contraire, des décompositions beaucoup plus rapides non seulement sur leur surface, mais encore dans l'intérieur de leur masse. Dans le fer l'action superficielle est très prépondérante et permet de se rendre compte de la conservation des pièces. Dans la fonte, au contraire, c'est l'action intérieure qui domine ; elle est particulièrement dangereuse, en ce qu'elle n'affecte pas la forme des objets, tout en diminuant considérablement leur résistance. Cette constatation peut avoir pour conséquence de montrer la nécessité de sonder les pièces de fonte exposées à la mer pour être certain de la conservation.

Brest, le 5 mai 1897.

N° 35

Éclairage électrique d'une partie des quais du port de Rouen

Par M. CHATEAU, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Un essai d'éclairage électrique a été fait dernièrement au port de Rouen.

Il s'agissait de remplacer, pour une portion des quais de la rive gauche, un éclairage intensif au gaz destiné à faciliter le déchargement des navires pendant la nuit, et d'illuminer en même temps les terre-pleins du bassin aux bois.

L'éclairage a été réalisé, après concours, par la Société normande d'Électricité, pour la somme totale et forfaitaire de 54.500 francs. La Chambre de Commerce, la Ville de Rouen et l'État ont pris part aux dépenses, soit d'établissement, soit d'entretien.

L'installation comprend vingt-huit lampes à arc de dix ampères, réparties sur le terre-plein, et un feu fixe à incandescence placé à l'extrémité du môle du bassin aux bois.

L'énergie électrique, distribuée sous une tension de 220 volts, est produite par une petite usine annexée à celle que la Chambre de Commerce possède pour la compression de l'eau destinée à l'alimentation des grues hydrauliques. Cette usine, dont le bâtiment a été établi aux frais de la Chambre de Commerce, se compose d'une chaudière, de deux machines à vapeur et deux dynamos, chacun des deux groupes suffisant à produire toute l'énergie nécessaire.

Le réseau est divisé en sept séries de quatre lampes, qui sont quinconcées entre elles, pour que l'extinction d'une série n'entraîne jamais une obscurité complète sur le terre-plein.

L'installation, quelque petite qu'elle soit, a fort bien réussi, car les déchargements de nuit sont devenus fréquents, surtout pour les charbons, sur le quai en question, dont le rendement s'est accru d'autant.

Caen, le 9 octobre 1897.

BIBLIOGRAPHIE.

N° 36

Président Leibbrand. — Ponts en maçonnerie de grande ouverture avec voûtes articulées. — Stuttgard, 1894 (*).

Compte rendu par M. HUMBERT, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

De 1885 à 1891, il a été construit dans le Wurtemberg, sous la direction de M. le Président Leibbrand, directeur des routes et de la navigation de cet État, un certain nombre de ponts-routes en maçonnerie qui présentent d'intéressantes particularités de construction.

Les ingénieurs français ont construit des ponts en maçonnerie de grande ouverture avec une telle perfection qu'ils sont arrivés à réduire considérablement l'abaissement de la clef de voûte après décintrement et à éviter, d'une manière presque complète, les fissures dans la voûte aux joints de rupture : toutefois il reste cet inconvénient que la recherche du travail des matériaux n'est possible que moyennant l'acceptation d'hypothèses assez arbitraires.

(*) On trouvera aux *Annales* de 1891 (1er semestre) un très intéressant article de M. l'Ingénieur en Chef La Rivière sur cette même question.

Cet article, dont les éléments ont été puisés dans une étude publiée par M. Leibbrand dans le *Zeitschrift für Bauwesen*, 1888, rend compte de la construction des ouvrages établis par M. Leibbrand dans le Wurtemberg jusqu'en 1887, savoir : le pont sur le Nagold, les deux ponts sur l'Enz, le pont sur le Glatt et le pont sur la Murr. Il est accompagné de planches qui donnent tous les détails nécessaires sur ces différents ouvrages.

Il contient également l'analyse d'une note de M. l'Inspecteur général Brosselin sur la construction des ponts en maçonnerie, note qui date de 1878 et où l'auteur propose pour la construction du pont de Tolbiac une disposition absolument analogue à celle qui a été appliquée depuis en Allemagne.

On est conduit, dès lors, à donner aux voûtes un surcroît d'épaisseur inutile, ce qui augmente les dépenses de construction.

Le premier pont en maçonnerie construit dans le Wurtemberg, suivant le système français, est un pont sur le Nagold près de Teinach, édifié en 1882 ; l'ouvrage, à culées perdues, a 33 mètres d'ouverture apparente ; la voûte est en arc de cercle, avec 3m,30 de flèche, 1m,60 d'épaisseur aux naissances et 1 mètre d'épaisseur à la clef. Malgré toutes les précautions prises, l'emploi du mortier de ciment de Portland, les voussoirs voisins des naissances maçonnés à sec et le décintrement effectué 42 jours seulement après le clavage de la voûte, de légères fissures se sont produites aux naissances ; l'abaissement du sommet de la voûte n'était cependant que de 43 millimètres. Ce précédent donna à l'auteur l'idée d'essayer l'emploi de joints articulés à la clef et aux joints de rupture, de manière à permettre à la voûte, au décintrement, de prendre son mouvement en toute liberté. Il songea à constituer ces joints au moyen de lames de plomb de 20 millimètres d'épaisseur, intercalées entre les voussoirs et occupant seulement le tiers intérieur du joint, les deux autres tiers restant libres à l'intrados et à l'extrados. Le plomb jouit, en effet, de cette propriété importante que, s'il vient à être soumis à une pression qui dépasse la résistance du métal, il cède et s'étend, sans perdre de sa cohésion, et sa surface augmente jusqu'à ce que la pression par unité de surface se réduise au chiffre convenable.

Des expériences furent faites sur la résistance du plomb à la compression ; elles donnèrent les résultats suivants :

Des cubes de plomb fondu de 8 centimètres de côté résistèrent sans aplatissement sensible à une pression de 50 atmosphères par centimètre carré, exercée pendant 26 heures ; ils commencèrent à céder lentement à une pression de 72 atmosphères.

Des plaques de plomb laminé de 90 millimètres de côté et de 25 millimètres d'épaisseur donnèrent une résistance moyenne de 67 atmosphères et commencèrent à céder à une pression de 75 atmosphères.

L'adjonction d'une faible proportion d'antimoine (5 0/0) augmente beaucoup la résistance du plomb ; c'est ainsi que des plaques de cet alliage, de 70 millimètres de côté et de 25 millimètres d'épaisseur, résistèrent à une pression de 400 atmosphères et ne commencèrent à céder qu'à la pression de 500 atmosphères.

On a donc le moyen, par l'adjonction de l'antimoine, de donner aux joints en plomb une résistance aussi grande que peut l'exiger la pression dans les voûtes.

Les dimensions des plaques de plomb résultent, d'une part, de la résistance du métal et, d'autre part, de celle des matériaux de la voûte. Dans les premiers ponts construits d'après ce système, on a donné aux plaques de plomb une largeur égale au tiers de l'épaisseur de la voûte, ce qui correspond à peu près à une pression uniformément répartie de 60 atmosphères par centimètre carré sur le plomb, et, dans la position la plus défavorable de la courbe des pressions, à une pression maxima, d'un seul côté, de 120 atmosphères.

L'expérience a montré que, sur les parties les plus chargées des joints en plomb, aucune trace de déformation n'apparaissait, ce qui amène à conclure, ou bien que le plomb pendant l'exécution se comporte de manière à répartir la pression sur toute sa surface, ou bien que sa résistance en plaques d'une assez grande étendue est plus forte que celle des morceaux soumis aux expériences et qu'elle atteint au moins 120 atmosphères. Le premier fait est le plus vraisemblable ; c'est pourquoi, dans le calcul de deux grands ponts de la vallée de Murg plus récemment construits, on a admis sur les plaques de plomb une pression uniformément répartie allant jusqu'à près de 120 atmosphères par centimètre carré.

L'auteur relate ensuite les expériences qu'il a faites sur la compression et la résistance des maçonneries et résume dans les deux tableaux ci-après les principaux éléments de la construction et du calcul des sept ouvrages qu'il a construits d'après ce système. Tous ces ponts sont à culées perdues ; les culées sont, en général, limitées par le prolongement des courbes d'intrados et d'extrados ; la courbe d'intrados est une anse de panier, dont la partie apparente est un arc de cercle très surbaissé, généralement au 1/10. On trouvera, dans l'article de M. la Rivière déjà cité, les dessins des quatre premiers ouvrages. Les trois derniers, construits depuis 1889, sont analogues.

TABLEAU I.

		PONT SUR L'ENZ près de Höfen 1885	PONT SUR L'ENZ près de Wildbad 1886	PONT SUR LE GLATT près de Neuneck 1886	PONT SUR LA MURR près de Marbach 1887	PONT SUR LA MURG près de Baiersbronn 1889	PONT SUR LE FORBACH à Baiersbronn 1890	PONT près de la gare d'Ehingen 1891
		1	2	3	4	5	6	7
Ouverture apparente du pont		28m,00	15m,60	17m,00	32m,00	33m,00	25m,00	18m,00
Flèche de la voûte		2 ,80	3 ,25	3 ,00	3 ,00	3 ,30	3 ,00	3 ,60
Largeur du pont		3 ,90	7 ,00	5 ,50	6 ,20	6 ,60	6 ,60	6 ,80
Epaisseur de la voûte	aux naissances	1 ,50	0 ,80	0 ,80	1 ,50	0 ,80	0 ,80	1 ,00
	au sommet	1 ,00	0 ,50	0 ,40	1 ,20	0 ,60	0 ,60	0 ,45
Joints en plomb	Epaisseur	20mm	20mm	20mm	20mm	20mm	20mm	20mm
	Largeur aux naissances	500	200	200	500	180	130	100
	Largeur au sommet	350	200	100	400	170	110	100
Durée de la construction de la voûte		7 jours	10 jours	»	21 jours	13 jours	12 jours	22 jours
Temps écoulé jusqu'au décintrement		35 jours	14 jours	36 jours	41 jours	28 jours	18 jours	15 jours
Abaissement du sommet de la voûte	au décintrement	40mm	11mm	15mm	39mm	92mm	20mm	14mm
	total	56	18	15	55	163	45	14
Travail maximum des matériaux	aux fondations	8atm ,4	4atm ,5	4atm ,7	7atm ,0	17atm ,8	5atm ,6	6atm ,9
	aux naissances	13 ,5	10 ,5	5 ,4	16 ,1	31 ,8	18 ,5	5 ,9
	au joint de rupture	24 ,0	21 ,0	15 ,3	23 ,1	50 ,9	56 ,4	14 ,2
	à la clef	18 ,0	7 ,3	8 ,2	18 ,4	40 ,8	22 ,1	8 ,9
Travail maximum du joint de plomb (uniformément réparti)		60 ,0	46 ,0	36 ,0	55 ,0	115 ,0	102 ,0	61 ,0
Durée de la construction		10 mois	5 mois	3 mois	8 mois	4 mois	4 mois	8 mois
Dépenses d'établissement	totales	30.596f,25	17.946f,25	10.000f	40.551f,25	23.387f,50	18.262f,50	13.825f,00
	par mètre carré de surface du pont en plan (ouverture apparente)	280 ,00	163 ,75	106 ,25	205 ,00	107 ,50	110 ,00	123 ,75
	par mètre carré de surface du pont en plan (d'après la longueur totale de l'ouvrage)	177 ,50	113 ,75	78 ,75	131 ,25	88 ,75	86 ,25	88 ,75

De ces différents ouvrages, les voûtes des 6 premiers ont été construites en pierres avec joints articulés en plomb aux naissances et à la clef. Aux joints de rupture, des lames de plomb de 20 millimètres d'épaisseur et de largeur variable suivant les ouvrages ont été intercalées sur toute la largeur du pont entre les voussoirs qui forment ces joints ; de même, au sommet de la voûte, deux rangées de voussoirs ont été placées de part et d'autre de l'axe, et séparées par des lames de plomb de la même épaisseur de 20 millimètres.

L'emploi de ces joints articulés présente l'avantage, en faisant passer la courbe des pressions par les trois points d'articulation, de réduire l'épaisseur de la voûte autant que le permet la résistance des matériaux employés ; il en résulte que, dans beaucoup de cas, la construction de ponts en pierres devient aussi économique que celle de ponts en métal. Il offre également la possibilité de construire, au lieu de ponts à plusieurs arches de petite ouverture, un ouvrage à grande portée, ce qui est très avantageux pour l'écoulement des hautes eaux.

La voûte du 7e ouvrage (pont sur chemin de fer, près de la gare d'Ehingen) a été construite entièrement en béton, sauf les deux bandeaux de tête, qui sont formés de voussoirs en pierres calcaires du Jura. Le corps de la voûte est formé de béton, avec pierres noyées dans la masse, et dosé de la manière suivante : 1 partie de ciment, 2 de sable, 6 de gravier ; aux joints de rupture et à la clef, on a intercalé deux rangées de voussoirs en pierres, entre lesquels sont placées les plaques de plomb, de 20 millimètres d'épaisseur et de 10 centimètres de largeur, qui forment les articulations.

Le tableau n° 2 ci-dessous est constitué au moyen des résultats des expériences faites par l'auteur sur la compressibilité des maçonneries, et donne le calcul de l'abaissement de la clef de voûte pour chacun des ouvrages ; les abaissements calculés et observés concordent à peu près, sauf pour le pont n° 5 (pont sur la Murg), où la grande différence observée ne peut s'expliquer que par un tassement des murs de fondation.

TABLEAU II.

	PONT sur l'Enz	PONT sur l'Enz	PONT sur le Glatt	PONT sur la Murr	PONT sur la Murg	PONT sur le Forbach	PONT d'Ehingen
Culée de gauche.							
(1) Longueur sur la ligne de pression (mètres)	9,78	5,40	3,80	10,14	6,08	3,15	3,13
(2) Pression sur la fondation (atmosphères par centimètre carré)	6,7	4,5	4,7	4,04	8,4	5,6	4,5
(3) Pression sur la butée (atmosphères par centimètre carré)	13,5	7,1	5,0	16,1	23,0	9,0	5,6
(4) Pression moyenne sur la fondation (atmosphères par centimètre carré)	10,1	5,8	4,85	10,07	15,7	7,3	5,05
(5) Compressibilité en millioniémes de la longueur	314	185	157	314	478	231	162
(6) Compressibilité de la fondation — Dans la direction de la ligne de pression [(1) × (5)] (centimètres)	0,307	0,100	0,059	0,318	0,290	0,072	0,051
(7) Compressibilité de la fondation — Verticale (a)	0,174	0,080	0,045	0,178	0,163	0,044	0,04[illegible]
(8) Compressibilité de la fondation — Horizontale (b)	0,253	0,061	0,037	0,263	0,240	0,058	0,02[illegible]
Culée de droite.							
(9) Longueur sur la ligne de pression (mètres)	10,10	6,60	4,20	11,28	1,87	5,68	4,15
(10) Pression sur la fondation (atmosphères par centimètre carré)	6,7	4,5	4,7	4,8	13,7	6,2	4,9
(11) Pression sur la butée (atmosphères par centimètre carré)	13,5	6,5	5 »	16,1	26 »	9 »	5,6
(12) Pression moyenne sur la fondation (atmosphères par centimètre carré)	10,1	5,5	4,85	10,45	19,85	7,6	5,25
(13) Compressibilité en millioniémes de la longueur	314	176	157	327	589	240	170
(14) Compressibilité de la fondation — Dans la direction de la ligne de pression [(9) × (13)] (centimetres)	0,317	0,116	0,065	0,368	0,110	0,136	0,071
(15) Compressibilité de la fondation — Verticale (a')	0,186	0,095	0,050	0,209	0,049	0,086	0,064
(16) Compressibilité de la fondation — Horizontale (b')	0,257	0,066	0,043	0,302	0,099	0,106	0,033
Valeur totale des déplacements des culées.							
(17) Moyenne verticale $\left(\frac{a + a'}{2}\right)$ (centimètres)	0,180	0,087	0,047	0,193	0,106	0,065	0,054
(18) Horizontale $(b + b')$ (centimètres)	0,510	0,127	0,080	0,565	0,339	0,164	0,060
Arc.							
(19) Demi-longueur sur la courbe de pression (mètres)	14,45	8,50	9,50	16,60	17,25	13,20	9,70
(20) Pression aux naissances (atmosphères par centimètre carré)	13,5	7,1	5,4	16,1	23	15,9	5,6
(21) Pression à la clef (atmosphères par centimètre carré)	18, »	7,3	8,2	18,4	31,9	18,8	8,4
(22) Pression moyenne dans la voûte (atmosphères par centimètre carré)	15,7	7,2	6,8	17,25	27,5	17,35	7,0
(23) Compressibilité en millioniémes de la longueur	478	228	216	520	762	522	222
(24) Rapport de la flèche à la demi-corde	1 : 5	1 : 2,4	1 : 2,83	1 : 5,16	1 : 5	1 : 4,09	1 : 2,5
(25) Somme de la moitié du raccourcissement de l'arc [(19) × (23)]	0,691	0,193	0,205	0,863	1,314	0,689	0,215
et du demi-écartement des culées (centimètres)	+ 0,255	+ 0,063	+ 0,040	+ 0,282	+ 0,169	+ 0,082	+ 0,030
	0,946	0,256	0,245	1,145	1,483	0,711	0,24[illegible]
(26) Abaissement de la clef dû à la compressibilité de l'arc et à l'écartement des culées [(25) : (24)] (millimètres)	47,3	6,2	6,9	59,1	74,1	31,5	6,1
Abaissement total de la clef après décintrement.							
(27) Calculé (26) + (17)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Les plaques de plomb qui, dans les premiers ponts construits, avaient une largeur égale au 1/3 de celle du joint, ont été réduites, dans les ouvrages plus récents, comme le pont sur le Forbach, à n'avoir plus que 1/6 de cette largeur; la pression sur cette plaque a atteint jusqu'à 102 atmosphères, sans qu'il en soit résulté aucun inconvénient, soit pour le plomb, soit pour les pierres voisines.

G. H

Paris, 3 octobre 1897.

N° 37

Président Leibbrand. — Un pont en béton sur le Danube près de Munderkingen. — Stuttgard, 1894.

Compte rendu par M. HUMBERT, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'auteur rend compte de la construction d'un pont-route, établi en 1893 sur le Danube, près de la ville de Munderkingen. Cet ouvrage, dont nous joignons les dessins au présent compte rendu (page 358 *bis*), est en arc de cercle, à culés perdues, avec une ouverture apparente de 50 mètres et une flèche de 5 mètres; il est, par conséquent, surbaissé au 1/10. Son ouverture réelle entre les fondations est de 59 mètres. Sa largeur utile est de 8 mètres entre garde-corps, dont $5^m,40$ pour la chaussée et $1^m,30$ pour chacun des trottoirs. Le pont est légèrement biais par rapport à l'axe de la rivière.

La voûte a été construite d'après le système de M. Leibbrand avec 3 articulations, une à la clef et une à chacun des joints de rupture.

L'auteur explique que ce système a pour but, en première ligne, de faire de la voûte une construction statiquement déterminée; toutes les hypothèses arbitraires sur le tracé de la courbe des pressions se trouvent éliminées, et chaque partie de la construction peut être calculée avec la sécurité correspondant aux connaissances techniques actuelles. Il a en outre pour résultat, que les tassements inévitables de la voûte, qui proviennent de la compressibilité du sol, de la fondation et de l'arc, peuvent se produire sans entraîner de fissures dans la voûte.

Le calcul a été fait en admettant une surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré; en raison du poids propre du pont, qui est assez élevé, on a fait abstraction de l'influence des charges isolées, telles que cylindres à vapeur, etc.

Le corps de la voûte est en béton de ciment; les voussoirs des bandeaux de tête seuls sont en pierres artificielles en béton de ciment. L'épaisseur de la voûte à la clef est de 1 mètre, et la plus forte pression qui peut s'y exercer est de 34^{kil},2 par centimètre carré; aux sommiers des naissances l'épaisseur est de $1^m,10$, la plus forte pression de 34^{kil},4 à gauche, de 34^{kil},9 à droite.

Aux joints de rupture la courbe de pression se rapproche de l'intrados ou de l'extrados, suivant que l'une ou l'autre moitié de la voûte est entièrement chargée ; à ces deux joints seulement, l'épaisseur de la voûte a été augmentée de telle sorte que les plus fortes pressions à l'intrados et à l'extrados soient égales et de même valeur que la plus forte pression aux naissances et à la clef. Dans le projet ce résultat était complètement atteint ; en exécution on a admis une légère dérogation à ce principe, et la plus forte pression est, au joint de gauche, de 36^{atm},7, au joint de droite, de 38 atmosphères par centimètre carré.

Les articulations ne sont pas d'un seul morceau sur toute la largeur de l'ouvrage ; elles sont constituées, sur une largeur de 7^{m},50 de la voûte, par 12 pièces séparées de 0^{m},50 de longueur. Deux pièces d'acier de 70 millimètres de largeur sur 25 millimètres d'épaisseur (voir les dessins ci-joints), dont la surface frottante est façonnée suivant un arc de cercle d'un rayon de 15 centimètres et qui peuvent résister à un effort de 659 atmosphères, forment le point d'articulation ; elles sont fixées sur le milieu de sommiers en acier de 50 centimètres de largeur, 80 centimètres de longueur dans le sens des rayons de la voûte et 23 centimètres d'épaisseur, qui s'appuient sur des voussoirs en pierres de taille et ont pour but de répartir sur une plus grande surface de béton de la voûte la pression qui s'exerce aux articulations. La pression uniformément répartie par les sommiers atteint 57 atmosphères aux naissances; cette pression a paru admissible parce que les sommiers portent sur des surfaces de béton de 1^{m},10 sur 0^{m},63, qui sont 40 0/0 plus grandes que la surface de pression elle-même. Or, d'après les recherches de Bach et de Durand-Claye, la résistance des pierres est, dans ce cas, à peu près 16 0/0 plus grande que lorsqu'elles sont chargées sur toute leur surface. De plus, la confection de la voûte, au voisinage des articulations, a été conduite avec un soin particulier et le dosage du ciment y a été augmenté dans une certaine proportion.

Les travaux ont commencé le 11 avril 1893 ; la voûte a été clavée le 7 août; le décintrement a eu lieu le 4 septembre. L'abaissement du sommet de la voûte après le décintrement a été de 75 millimètres (sur la face amont) par une température de 16° ; il a été progressivement en augmentant jusqu'au 18 janvier 1894, où il était de 147 millimètres (température — 3°). Le pont avait d'ailleurs été livré à la circulation le 16 novembre 1893. Les travaux avaient duré 7 mois.

Les dépenses de construction se sont élevées à 8
savoir :

Fondations	17,50
Cintres..........................	8.87
Construction du pont............	50.50
Surveillance et divers...........	11.87
Total..............	88.75

Il en résulte que le prix du mètre carré de sur (en plan), d'après l'ouverture apparente de 50 mètres de 8 mètres entre garde-corps, est de 221 fr. 25 ; compte de la longueur totale de l'ouvrage, qui est d ce prix ressort à 187 fr. 50.

La composition des maçonneries est indiquée ci-ap

	Ciment de Portland	Sable	Gravier	
Béton de fondation..	1	2 1/2	5	(sans b dans
— ..	1	4	8	(avec u blocs
Béton de voûte......	1	2 1/2	5	(sans b

Pierres de taille artificielles des bandeaux :

	Ciment	Sable	Gravier
Béton	1	3	6
—	1	4	8
—	1	5	10

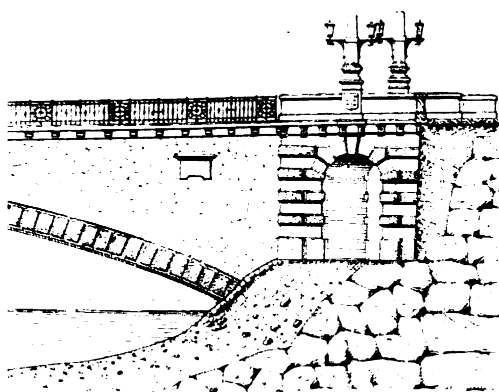
Pierres artificielles : 1 de ciment ordinaire, 5 de sa gravier.

Mortier de ciment : 1 de ciment, 2 1/2 de sable.

Il a été employé dans cet ouvrage 552 tonnes de ci Portland.

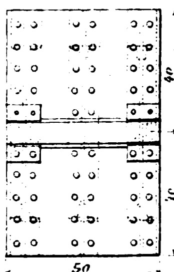
G.

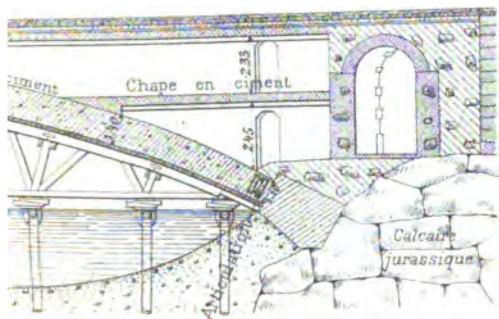
Paris, 6 octobre 1897.



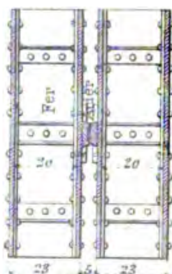
Détails de l'articulation

Elévation

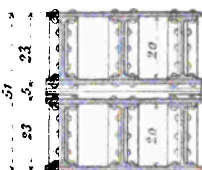




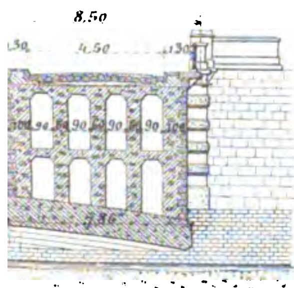
Coupe verticale



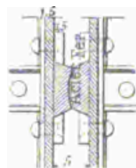
Coupe horizontale



…ansversale aux naissances



Détails de l'axe



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris

N° 38

COMPTE RENDU DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES FRANÇAIS.

I. — Sciences appliquées.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (juillet 1897) : A. Lencauchez. — *Étude sur le mouvement des fluides dans les appareils à force centrifuge.* — Selon l'auteur, les inclinaisons, pentes et courbures des aubes des ventilateurs centrifuges n'ont qu'une action insignifiante sur le rendement.

Nouvelles Annales de la Construction (juin 1897) : L. Lefort. — *Jaugeages des petits cours d'eau.* — La pratique et l'expérience indiquent que, pour jauger le débit de petits cours d'eau dont la largeur varie de $0^m,25$ à 5 mètres, le procédé le plus exact et le plus rapide, tout en restant très économique, consiste dans l'emploi du déversoir en mince paroi. L'auteur rend compte des opérations et des calculs à faire.

— (Août 1897) : G. Dariès. — *Application de la nomographie au calcul des conduites d'eau.* — L'auteur donne la théorie, la construction et le mode d'emploi d'un abaque établi, pour le calcul des conduites d'eau, d'après la formule de M. Maurice Lévy.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer (juillet 1897) : Von Dormus. — *Études et considérations sur les inégalités de texture et de composition des rails d'acier.* — Les usiniers ne sont pas encore parvenus à produire un métal bien

homogène ; le seul résultat obtenu est de réduire les inégalités jusqu'à un certain degré. Pour aller plus loin, il faudrait se rendre parfaitement compte, par des essais multipliés, de l'influence exercée sur la qualité de la texture, tant par la composition chimique que par la fabrication considérée dans toutes ses phases.

Des inégalités très importantes ont été surtout remarquées dans la partie de la barre laminée provenant de la tête du lingot, et cela sur un quart, voire sur un tiers de la longueur de cette barre.

Comme on n'enlève actuellement, dans les usines, après le laminage, que 1 mètre à $1^{m},50$ à l'extrémité de la barre, il en résulte qu'il entre dans la composition de certains rails du métal de moindre valeur ; ce sont ces rails qui se brisent en service.

Si l'on employait l'extrémité supérieure des lingots à la fabrication de rails destinés à des usages secondaires, on obtiendrait, pour l'établissement des lignes principales, des rails à peu près homogènes, en acier dur, offrant une résistance à la rupture d'au moins 60 kilogrammes, en même temps qu'une grande résistance à l'usure, et donnant toutes garanties de sécurité.

Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer (juillet 1897) : L. Tetmajer. — *Transformation des procédés basiques de fabrication de l'acier pour rails et des méthodes d'essais des rails d'acier* (extrait et traduit de la *Schweizerische Bauzeitung* de Zurich, année 1896). — Les opérations de réception devraient consister : 1° dans le contrôle courant des produits du laminage ; 2° dans l'examen des barres d'essai ou de garantie.

Ce dernier examen comporterait :

1° La vérification de la forme et de la qualité de la surface;
2° Des essais de corrosion ;
3° Des essais au choc ;
4° Des essais de flexion ;
5° Des essais à la rupture par traction ;
6° Des analyses chimiques.

Bulletin de la Société d'Encouragement (août 1897) : Thierry. — *Les transports par câbles aériens.*

Le Génie civil (5 juin 1897): *La brouette chinoise.* — La brouette est un des principaux moyens de transport et de voyage usités en Chine, principalement dans l'immense plaine de la région septentrionale. La charge repose directement sur la roue (de part et d'autre de cette roue), au lieu d'être placée, comme en Europe, entre la roue et l'homme. Elle est amarrée au moyen de cordes. Cette brouette peut servir de siège à 4 personnes. A Shangaï, où l'on a installé des filatures, un brouetteur peut mener six ouvrières à une distance de 3 milles, matin et soir, moyennant un prix d'abonnement de 1 fr. 75 par mois.

La Revue technique (25 juin 1897) : L. Leclerc. — *Les applications du béton de ciment armé. — Procédé Hennebique.* — L'auteur donne le calcul des différentes parties d'un plancher du système Hennebique.

—— (25 août 1897) : *Nouvelle méthode pour déterminer la dureté des pièces de fonte.* — On se sert d'une perceuse ordinaire, dont la mèche est chargée d'un poids déterminé. La dureté, rapportée à celle d'un échantillon type, est mesurée par le rapport des nombres de tours effectués.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Le Génie civil (26 juin 1897) : A. Dumas. — *Le pont Alexandre III sur la Seine. — Projet définitif.* — La portée des arcs, entre articulations, est de $107^m,50$, et la distance entre les culées de $109^m,06$.

La flèche entre articulations est de $6^m,28$, ce qui donne, pour le surbaissement, une valeur de $\frac{1}{17^m,12}$. La largeur de la passe libre en hautes eaux, avec $5^m,50$ de tirant d'eau, sera de 35 mètres au lieu de 30 mètres, largeur du projet primitif.

—— (31 juillet 1897) : A. Dumas. — *La rupture du pont sur l'Adour à Tarbes. — Description des ponts Marcille.* — Le matériel des ponts Marcille comprend deux groupes distincts, celui des petits ponts et celui des grands ponts. Le premier se subdivise en deux classes : les ponts de $1^m,25$, $2^m,50$, 5 mètres et 10 mètres d'ouverture ; les ponts de 10 à 20 mètres d'ouverture. Les grands ponts forment également deux classes : ponts de 20 à 30 mètres d'ouverture; ponts de 30 à 45 mètres d'ouverture.

Les ponts Marcille sont construits en acier doux offrant une résistance de 45 kilogrammes à la rupture, susceptible d'un allongement de 20 0/0 et n'éprouvant de déformations permanentes que sous une charge supérieure à 22 kilogrammes. On a diminué autant que possible le poids de ces ponts. Le type de 45 mètres employé à Tarbes ne pèse que 2.200 kilogrammes par mètre courant; le métal y travaille à 10 et même à 12 kilogrammes.

Des ponts Marcille, de portées comprises entre 20 et 45 mètres, ont été à plusieurs reprises mis en service (dans des circonstances analogues à celles qui en avaient motivé l'emploi à Tarbes) sur diverses lignes de chemins de fer en pleine exploitation; et ces expériences avaient donné les résultats les plus satisfaisants tant au point de vue de la résistance du matériel qu'à celui de la facilité de son montage et de son démontage.

Épreuves du pont sur l'Adour. — Ces épreuves ont eu lieu conformément aux prescriptions de la circulaire ministérielle du 29 août 1891, postérieure à la construction des ponts Marcille. Toutefois le service du Génie jugea que le pont pouvait supporter les épreuves. La rupture s'est produite pendant les épreuves par poids mort, alors qu'on amenait à une vitesse moindre que celle d'un homme au pas le train d'épreuve à la place où il devait séjourner.

Causes probables de l'accident. — Les appuis en maçonnerie n'ayant pas bougé, le tablier métallique est seul en cause. Les photographies montrent qu'il y a eu double flambage : flambage des âmes et flambage des semelles. On ne sait pas quel est celui qui s'est produit d'abord. On a attribué la ruine du pont à une différence considérable de température entre les deux poutres. Cette différence est loin d'avoir pu atteindre la valeur de 35 degrés, qu'on a indiquée; cependant, même assez faible, elle a pu produire une légère flexion horizontale, et la dislocation du pont s'en serait suivie. Peut-être aussi la section des poutres était-elle trop faible? Peut-être encore l'entretoisement reliant les poutres était-il insuffisant?

IV. — Navigation intérieure.

Le Génie civil (10, 17 et 24 juillet 1897) : A. Dumas. — *Rupture de la digue de Bouzey. — Explications produites devant le tribunal correctionnel d'Épinal.*

Historique de la digue : Construction en 1879-1880. — Accident de 1884. — Restauration en 1888-1889. — Fonctionnement du réservoir. — Catastrophe de 1895. — Enquête administrative. - Enquête judiciaire.

Fautes reprochées aux ingénieurs par les experts : 1° Défectuosité des fondations. — 2° Mauvaise qualité des matériaux. — 3° Maigreur excessive du profil. — 4° Défectuosité du tracé rectiligne. — 5° Défectuosité des travaux confortatifs exécutés en 1888. — 6° Remplissage du réservoir sans nécessité absolue.

Explications produites devant le tribunal correctionnel d'Épinal : Cause principale de la catastrophe. — Renversement ou cisaillement. — Influence de l'hiver 1894-1895. — Conclusion : En définitive, il faut établir les profils des barrages en maçonnerie de telle sorte qu'aucune de leurs parties ne soit exposée à subir des efforts d'extension. Une décision ministérielle du 10 mars 1896 a consacré ce principe.

Le Génie civil (31 juillet 1897) : F. DE MAS. — *Expériences faites par la Société I. R. P. de Navigation sur le Danube pour déterminer la résistance propre des divers éléments constituant son matériel flottant.* — Les expériences ont été faites en amont de Budapest sur une section de 5 kilomètres de longueur, où le Danube présente un cours sensiblement rectiligne et une section suffisamment uniforme : elles ont duré près de deux mois (juin et juillet 1895). 286 voyages d'essais ont été faits avec 29 embarcations de types différents.

Pour obtenir un résultat pratique, les Ingénieurs de la Société de Navigation ont donné de la résistance une expression très simple :

$$r = C (A + bL),$$

r étant la résistance du bateau en kilogrammes ;

L, son chargement en tonnes (de 1.000 kilogrammes) ;

C, un coefficient dépendant de la vitesse relative du bateau et de l'eau ;

A, un poids en tonnes (de 1.000 kilogrammes) ; et b, un coefficient, dépendant l'un et l'autre de l'espèce et de la forme du bateau.

Les résistances calculées par cette formule concordent très suffisamment avec celles observées.

La Revue technique (10 juin 1897) : *État actuel des travaux du canal de Panama.* — On a beaucoup travaillé à Panama ; on y travaille encore : ainsi s'exprime l'auteur de l'article, qui rend compte des anciens travaux et de ceux en cours d'exécution.

—— (25 juin 1897) : *Ascenseur à flotteurs pour bateaux installé près de Heinrichenburg, sur le canal d'Ems à Dortmund.* — Cet ascenseur, terminé depuis peu de mois, rachète une brusque dénivellation du sol, de 15 à 16 mètres d'élévation.

Il se compose d'un sas métallique de 70 mètres de longueur, $8^m,6$ de largeur et $2^m,5$ de profondeur, pouvant contenir des bateaux de 600 tonneaux, porté sur 5 flotteurs, susceptibles de se soulever ou de s'abaisser chacun dans un puits rempli d'eau, avec une course maximum de 16 mètres.

Les flotteurs sont complètement immergés dans l'eau, et leur poussée est exactement égale à la charge due au sas, au pont, etc., en sorte que la poussée et la charge se trouvent, pendant le mouvement du sas, constamment en équilibre, quelle que soit la position des flotteurs. Pour produire le mouvement du sas, il suffit d'y ajouter ou d'en enlever un faible poids d'eau, ce qu'on obtient en faisant arriver le sas un peu haut ou un peu bas par rapport au bief supérieur.

—— (25 juillet 1897) : *La traction électrique des bateaux par les procédés de la Société Denèfle, Michel, Gaillot, Papot et Brueder.* — MM. Denèfle et Cie ont imaginé un système double de halage et de propulsion, dont les expériences, poursuivies au cours des années 1894, 1895, 1896 et 1897, sur une section de 4 kilomètres du canal de Bourgogne, ont donné les résultats les plus encourageants. Le système Denèfle comprend deux appareils distincts : le *cheval électrique* et le *gouvernail propulseur*, pouvant être employés indifféremment.

Le *cheval électrique* est une sorte de tricycle à roues larges, circulant sur le chemin de halage, relié par un câble au bateau et par un trolley de forme particulière à la ligne aérienne fournissant le courant qui actionne les dynamos.

Le *gouvernail propulseur*, qui se substitue au gouvernail ordinaire, se compose d'une étroite caisse en tôle, contenant la dynamo réceptrice, terminée par une partie effilée dans laquelle est logée l'hélice en bronze, à trois branches, fournissant, dans la marche normale, 300 tours à la minute.

MM. Denèfle et Cie sont autorisés à appliquer leur système sur le canal d'Aire et de la Deule entre Marles et Pont-à-Vendin.

V. — TRAVAUX MARITIMES.

La Revue technique (25 juillet 1895) : *Création de nouveaux bassins dans le port de Hambourg.* — Bien que le port de Hambourg possède une douzaine de bassins et de nombreux mouillages le long de pieux (ducs d'Albe) en pleine rivière, la fréquentation s'y accroît tellement que le Sénat vient de proposer un plan général d'agrandissement. Celui-ci consiste dans la création à Kurwarder (rive gauche) de trois grands docks, destinés à la navigation maritime, et dans la prolongation de la darse actuellement existante pour le service de la batellerie. On se bornera d'abord à la construction d'un bassin et à la prolongation de la darse. Les frais de construction du bassin sont estimés à environ 14 millions de francs.

VI. — CHEMINS DE FER. — TRAMWAYS. — AUTOMOBILES.

Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer (juin 1897) : Von BORRIES. — *Expériences sur la forme et les dimensions des tuyaux d'échappement et des cheminées de locomotives.* — Ces expériences ont été faites de 1892 à 1894 pour expliquer l'insuffisante efficacité des tuyères d'échappement des nouvelles locomotives express à chaudière surélevée, à courte cheminée et à tuyère ou lanterne d'échappement avec base verticale. On s'est servi en partie d'un appareil spécial, en partie des locomotives elles-mêmes. L'auteur déduit de ces expériences des conclusions pratiques touchant : la forme de la lanterne d'échappement; les dispositions des lanternes raccourcies ; les meilleures dimensions à donner aux lanternes d'échappement; les règles à suivre dans l'élaboration de projets pour nouvelles cheminées.

—— (Juillet 1897) : E. STRUB. — *La superstructure du chemin de fer de la Jungfrau.*

Portefeuille économique des Machines (juillet 1897) : E. BOISTEL. — *Les tramways électriques de Berlin.*

Revue générale des Chemins de fer (juin 1897) : E. SARTIAUX. — *Note sur les divers appareils de manutention électro-magnétique*

employés sur le réseau du chemin de fer du Nord. — Les appareils en question comprennent : 1° les cabestans électriques et leurs divers emplois ; 2° les grues électriques ; 3° les monte-charges électriques ; 4° les tracteurs électriques.

Ce premier article est consacré aux cabestans électriques, dont il décrit trois types en usage sur le réseau du Nord :

1° Le cabestan avec poupée de halage principalement destiné, comme le cabestan hydraulique, à faire tourner le wagon sur plaques et à les faire rouler d'un point à un autre ;

2° Le cabestan à action directe pour rotation des plaques et des ponts tournants ;

3° Le cabestan à multiple effet permettant d'actionner alternativement plusieurs plaques tournantes et de faire les halages de wagons.

Revue générale des Chemins de fer (juin 1897) : Le Bris. — *Reconstruction des ponts de la ligne de Paris au Havre sur la Seine.* — Un premier article, paru dans le numéro de décembre 1896, rend compte de la reconstruction du pont du Manoir.

Le second article a pour objet les ponts de Tourville et d'Oissel. Après avoir décrit les fondations à l'air comprimé et la structure des tabliers, il donne des renseignements étendus sur les épreuves auxquelles furent soumis ces tabliers.

—— (Juin 1897) : R.-H. Angier. — *L'équilibre des masses dans les locomotives et ses effets.* — Après avoir calculé le contrepoids des roues motrices pour différents types de locomotives, l'auteur traite successivement les objets suivants : Contrepoids réels. — Répartition de la bielle. — Placement des manivelles d'accouplement. — Construction du mécanisme. — Répartition des contrepoids. — Proportions des masses alternantes à équilibrer.

—— (Juillet 1897) : Coüard. — *Note sur la déformation permanente de la voie.* — Deuxième partie. — *Déformation verticale des rails.* — En résumé, dans tous les types de voie Vignole ou à double champignon, les rails s'infléchissent d'une manière permanente. Presque toujours les joints s'abaissent, le rail d'aval restant plus bas que le rail d'amont, en sorte que les roues *tombent* du premier sur le second.

Tous les systèmes d'éclissage semblent insuffisants pour prévenir cet effet, et les seuls moyens qui paraissent efficaces sont le rapprochement des traverses de contre-joints, la pose dissymétrique qui diminue l'écartement sous la première moi-

tié du rail, et surtout un entretien soigné, qui peut atténuer considérablement, sinon supprimer, les joints bas, tout au moins au début, quel que soit le mode de pose.

Revue générale des Chemins de fer (août 1897) : F. DELAUNAY. — *Note sur la gare de triage de Condren* (*réseau du Nord*). — La gare de triage de Condren est une annexe de la gare de Tergnier. En novembre 1896, il a été reçu et expédié à la gare de Condren 3.449 trains de marchandises, soit 115 trains par 24 heures, donnant une moyenne de 2.400 wagons se répartissant au départ à raison de 23,6 0/0 vers la Belgique, 20,4 0/0 vers Somain, 40,7 0/0 vers La Chapelle, 9,4 0/0 vers Laon et 5,9 0/0 vers Amiens. De ces 2.400 wagons, un millier environ ne donnent lieu à aucune manœuvre, et 1.400 doivent être sortis de la composition d'un train à l'arrivée pour entrer dans celle d'un autre train au départ.

La gare se subdivise en deux groupes bien distincts :

Le *groupe de garage* et de formation, comprenant 16 voies d'une longueur moyenne de 400 mètres ;

Le *groupe de triage*, comprenant 20 voies, avec une *halle de transbordement* pour la confection de wagons contenant des marchandises de détail ; un *atelier de visiteurs*, pour permettre l'exécution immédiate des menues réparations ; un *bâtiment pour les agents des trains* avec dix chambres à 4 lits, réfectoire, cuisine ; enfin une *usine électrique* permettant d'obtenir un brillant éclairage, bien utile au bon et rapide accomplissement du service. On installera prochainement un dépôt de machines.

En définitive, le prix de revient d'un wagon manœuvré ressort à 0 fr. 373 pour un mois de bon trafic moyen.

Si, comme cela pourrait avoir lieu sans gêne sensible pour le service, le nombre des wagons manœuvrés montait à 2.400 par heure, la dépense par wagon tomberait à 0 fr. 245.

La Revue technique (25 mai, 10 et 25 juin, 10 et 25 juillet, 10 août 1807) : J. MARTIN. — *Étude comparative entre la voie normale et la voie de 1 mètre.* — L'auteur termine son étude par un chapitre sur le développement et l'utilité du chemin de fer à voie étroite. Il n'y avait en France, en 1876, que 52 kilomètres de voie étroite. Il y en a aujourd'hui près de 4.000 kilomètres,

répartis en plus de la moitié de nos départements. Il reste encore beaucoup à faire. Il est à désirer qu'on use de la voie de 1 mètre.

La Revue technique (10 août 1897): F. Colomer. — *La nouvelle gare des courses à Chantilly.* — En faisant passer par Pontoise ou par Monsoult les trains normalement dirigés sur Creil par Chantilly, on rend libre la voie de Chantilly, qu'il est possible, dès lors, d'affecter exclusivement au mouvement des trains de courses. C'est à l'année 1890 que remontent les premiers essais de l'organisation actuelle.

On vit, en cette année, pour la première fois, les trains marcher dans le même sens sur deux voies parallèles, à peu de distance les uns des autres.

Le jour du Derby, au départ de Paris, 36 trains sont formés d'avance. Il y en a 4 en gare de Paris, 19 dans la plaine Saint-Denis, 13 garés au Landit. On peut utiliser en outre les trains de matériel vide, retour de Chantilly. Le nombre des expéditions a été de 42, le dimanche 30 mai dernier.

La nouvelle gare de Chantilly a été disposée pour réexpédier le plus promptement possible tous les voyageurs après les courses. Les voies de garage sont au nombre de 10. Le train du quai 1 part, et un train vide, garé sur la voie principale en deçà du quai d'embarquement, vient prendre sa place pendant que le train du quai 2 se met en partance. De même un second train vide, garé sur la voie principale, est refoulé sur le quai 2 pendant que part le train du quai 3. On opère ainsi de proche en proche jusqu'à la voie 10. Lorsque le train de cette voie est parti, on ne peut pas y refouler de matériel vide parce qu'on gênerait le départ d'un nouveau train par le quai n° 1. On laisse donc vide le quai n° 10. Après avoir expédié 9 autres trains comme ci-dessus, il faut laisser vide à son tour le quai n° 9 pour ne pas gêner le départ au quai n° 1. A chaque nouvelle série de départ, il y aura un quai de plus restant vide. Il en résulte que le maximum des trains qu'on peut expédier de cette façon est égal à la somme arithmétique des dix premiers nombres, c'est-à-dire à 55.

Il a suffi, le 30 mai dernier, d'en former 32 qui ont ramené à Paris plus de 25.000 personnes dans un délai de 1 heure 41 minutes. Les trains se succèdent à 3 minutes d'intervalle, soit à 6 minutes sur la même voie.

(Voir, pour l'organisation de ce service spécial, la note de

M. Zimmermann dans le numéro de juillet de *la Revue générale des Chemins de fer.*)

VII. — GÉNIE RURAL. — ASSAINISSEMENT. — DISTRIBUTIONS D'EAU.

Bulletin de la Société d'Encouragement (août 1897) : RONNA. — . *Les eaux de Rome.* — 1° *Rome ancienne.* — Les aqueducs. — Si l'on estime leur débit journalier total à 1.488.000 mètres cubes, qui est le chiffre généralement admis, il en résulte, par tête d'habitant, un débit de 1.240 litres, dans l'hypothèse de la population la plus considérable ; 2° *Rome après l'Empire.* — Pendant le moyen âge, les aqueducs étant tombés en ruines, on s'approvisionna surtout aux puits ; 3° *Rome moderne.* — Pendant la Renaissance on a restauré divers aqueducs et construit de nombreuses et belles fontaines. Sous Pie IX un nouvel aqueduc fut construit de Tivoli à Rome.

Les eaux de Rome passent avec raison pour les meilleures que l'on rencontre dans les capitales d'Europe. Elles fournissent à la population actuelle 1.400 litres par jour et par habitant, proportion qui excède notablement celle atteinte dans les grandes cités américaines les mieux dotées et laisse bien loin derrière elle celle des grandes capitales de l'Europe.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (juin 1897) : BAUDOT. — *Les réservoirs du Nil* (compte rendu, par M. E. Badois, du travail de M. Baudot). — Le barrage serait établi à Selsileh, comme l'avait proposé M. Jacquet. En en maintenant la crête à la cote 104 mètres, on obtiendrait une réserve de près de quatre mille millions de mètres cubes, tout en laissant en dehors de l'eau les monuments de Philœ. La dépense ne dépasserait pas 45 millions.

—— (juillet 1897) : P. CHALON. — *Sur la recherche des eaux souterraines.* — Introduction. -- Genèse des eaux souterraines et leur action sur les roches. — Conditions de perméabilité ou d'imperméabilité des terrains. — Reconnaissance des terrains par leur aspect physique. — Régime des eaux souterraines et des sources. — Recherche des sources. — Captage des sources. — Construction des puits. — Eaux douces et eaux dures.

—— (Août 1897) : L. CHATEAU. — *Les gisements de phosphate de chaux dans les provinces de Constantine et d'Alger.* — Après avoir

fait l'historique de la découverte des phosphates sédimentaires sur les hauts plateaux algériens, examiné la constitution géologique de la région et la nature des phosphates, l'auteur *décrit* les divers gisements, évalue la dépense d'exploitation, examine les conditions d'exportation et le marché des phosphates dans le monde et termine son importante étude en appréciant l'avenir de l'industrie des phosphates en Algérie.

Le Génie civil (5 juin 1897) : *Traitement des ordures ménagères à Philadelphie et à New-York. — Application aux gadoues de la ville de Paris.* — Les ordures ménagères présentent en moyenne la composition suivante :

Pierres, verre, porcelaine, etc..	83	
Eau..	376	
Matière organique	155	Matière grasse, plus de 10 kilogrammes. Azote, 3,8.
Matière minérale	386	Acide phosphorique 4,1 Potasse 4,2
	1.000	

L'incinération fait disparaître l'azote, la matière grasse, en général la matière organique.

L'utilisation agricole de la gadoue verte force à transporter une masse énorme d'eau, introduit dans les champs des matières stériles ou nuisibles, infecte l'atmosphère.

Le traitement des gadoues par la vapeur d'eau sous pression, selon le procédé Arnold, appliqué à Philadelphie et à New-York, répond à tous les désidérata de l'agriculteur et de l'hygiéniste. La gadoue verte, telle qu'elle vient d'être recueillie est d'abord soumise en vase clos (cylindres en tôle d'acier de 5 mètres de hauteur, $1^m,60$ de diamètre et 16 millimètres d'épaisseur, dits *digesteurs*, pouvant recevoir 9,5 tonnes de gadoue verte) à l'action de la vapeur d'eau surchauffée à 4,5 atmosphères, puis séchée, broyée et blutée, de manière à donner une poudre inodore qui renferme tout l'azote, tout l'acide phosphorique et la plus grande partie de la potasse.

La ville de Paris produit par jour environ 2.000 tonnes de gadoues. Il suffirait de quatre usines pareilles à celle comprenant 20 digesteurs, qui fonctionne à Philadelphie, pour traiter cette masse de détritus.

(Le même sujet est traité dans le numéro de juin du *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, par M. C. Desbrochers des Loges, sous le titre : *Les ordures des villes, leur traitement par la vapeur d'eau sous pression et leur utilisation*. C'est l'étude originale.)

Nouvelles Annales de la Construction (juillet 1897) : *Note sur divers moyens d'augmenter le débit des bouches d'égout.*

La Revue technique (25 juillet 1897) : *Le système aspirateur Liernur et l'assainissement de Trouville-sur-Mer.* — Les matières fécales et les eaux d'un immeuble, qui descendent par les tuyaux de chute ordinaires, sont rassemblées dans un récipient en fonte, bien fermé et placé dans le sous-sol, d'où part une tuyauterie en fonte, raccordée à une conduite également en fonte, régnant dans l'axe de la rue. En différents points de la ville les tuyaux des rues aboutissent à un réservoir en fonte communiquant par un collecteur principal avec l'usine (extérieure à la ville) contenant les pompes aspirantes. Par l'effet de ces pompes les déjections de toute la ville sont rassemblées dans le récipient collecteur de l'usine. Elles y sont additionnées d'un poids d'acide sulfurique suffisant pour fixer l'ammoniaque qu'elles contiennent, puis refoulées et stérilisées dans des appareils chauffés à la vapeur.

Tel est le système déjà appliqué à Amsterdam, à Hanau (pour l'assainissement des hôpitaux), à Saint-Pétersbourg (dans le quartier militaire), à Riga, à Leyde, système qui va être mis en œuvre à Trouville.

VIII. — Machines.

Le Génie civil (3 et 17 juillet 1897) : V. Kammerer. — *Utilisation des forces motrices du Rhin à Rheinfelden (Suisse).* — Rheinfelden est situé sur le Rhin, entre Schaffouse et Bâle, au-dessous du confluent de l'Aar, dans une partie du fleuve, où existe, sur une longueur de 2.400 mètres, une dénivellation de plus de 7 mètres. La moyenne des débits minima y est d'environ 375 mètres cubes. L'autorisation d'utiliser la chute et le débit a été donnée à une Compagnie sous la réserve de maintenir

dans le lit du fleuve un courant d'au moins 50 mètres cubes. Il y a donc 325 mètres cubes à employer.

La Société a décidé de n'utiliser d'abord qu'une partie de la hauteur de chute. Un barrage en maçonnerie, tendant les eaux à 4 mètres, traverse le fleuve, laissant une ouverture de 20 mètres pour le flottage. Un canal d'amenée de 50 mètres de largeur au plafond et de 1 kilomètre de longueur longe la rive droite et aboutit au bâtiment des turbines construit en biais sur le canal. Il y a 20 turbines du type radial centripète, à réaction et admission totale. Chacune peut donner 840 chevaux-vapeur, en sorte que l'ensemble pourra produire au-delà de 15.000 chevaux.

La Revue technique (10 juillet 1897) : *Les machines en série, système Wellington.* — L'invention consiste à grouper en série un certain nombre de moteurs à vapeur, ayant chacun sa chaudière et son condenseur propres, de manière que le calorique perdu dans l'un de ces moteurs est utilisé dans le suivant. Ainsi la chaleur perdue dans l'une des chaudières est utilisée dans la suivante, en même temps que celle emmagasinée par l'eau qui circule successivement dans les divers condenseurs est récupérée, ce qui permet d'économiser le combustible. On arriverait à utiliser, par ce dispositif, de 25 à 40 0/0 de la chaleur produite, tandis que les meilleurs types de machines n'utilisent guère aujourd'hui, comme travail mécanique, que 10 à 12 0/0 de l'énergie représentée par la combustion du charbon.

F. D.

IX. — Électricité appliquée.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens (juin 1897) : G. Claude. — *Observations sur le fonctionnement des lampes à arc à courant alternatif.* — L'auteur étudie le fonctionnement des lampes à arc à courant alternatif et montre l'inconvénient qui résulte pour leur réglage de la variation de la self-induction de l'électro-aimant par suite du déplacement de son noyau ; il propose, pour rendre les attractions du noyau plus sensibles aux variations de l'intensité, de placer en série avec l'électro-aimant de réglage un condensateur de capacité convenable annulant la self-induction ou décalant le courant en avant de la tension dans le circuit en dérivation.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens (juin 1897) : R. Arnoux. — *Nouveaux voltmètre et ampèremètre enregistreurs à sensibilité variable.* — Description de nouveaux appareils enregistreurs inventés en collaboration avec M. Chauvin ; ces instruments sont fondés sur les mêmes principes que les appareils apériodiques bien connus des auteurs.

— (Juin 1897) : E. Hospitalier. — *Automobiles électriques.* — Reproduction d'un article de l'auteur tiré de *l'Industrie électrique* sur l'évolution des automobiles électriques de 1881 à 1897.

— (Juillet 1897) : F. Laporte — *Étude expérimentale des coupe-circuits et des fils fusibles.* — Étude expérimentale très intéressante faite par l'auteur, chef du service des recherches au Laboratoire central de la Société des Électriciens ; historique de la question, résultats expérimentaux.

— (Juillet 1897) : Abraham. — *Sur le rhéographe à induction Abraham-Carpentier et les différentes méthodes d'enregistrement des courbes de courants alternatifs.* — Étude historique de la question de l'inscription des courbes de courants alternatifs, différentes méthodes employées, méthodes électro-optiques, électro-chimiques, électriques, rhéographiques ; description de l'oscillographe de M. Blondel et du rhéographe de l'auteur, son mode de réglage. Exemples d'application à l'étude des machines à courants alternatifs.

Éclairage électrique (26 juin 1897) : Anonyme. — *La station centrale à gaz pauvre des tramways électriques de Zurich.* — Détails complémentaires sur cette installation, décrite précédemment.

— (26 juin 1897) : Anonyme. — *Prix de l'énergie électrique pour les moteurs et l'éclairage en France.* — Tableaux des tarifs et modes de vente de l'énergie dans quelques villes de France, avec l'indication de la puissance de l'usine.

— (26 juin 1897) : G. Richard. — *Les lampes à arc.* — Analyse de quelques brevets anglais pour lampes à arc : lampes E. Thomson, Davis, Wheless, Brockie, Davy, Adams, Anderson, Hegner ; projecteurs Branson, Mac Haffle et Faure ; lampe à arc Pyle pour locomotive, avec dynamo spéciale commandée par une petite turbine à vapeur placée près de la cheminée de la machine.

— (26 juin 1897) : Anonyme. — *La station centrale hydraulique a courants alternatifs triphasés de Minneapolis.* — Courte analyse

tirée du *Street Railvay Journal* et donnant une idée de la futur usine qui doit utiliser les eaux du Mississipi.

Éclairage électrique (10 juillet 1897) : ANONYME. — *Soudure de rails de tramways, système Falk.* — Description avec figures de ce procédé de soudage par la fonte en fusion ; économie réalisée aux États-Unis par l'emploi des rails continus.

—— (10 juillet 1897) : Ch. HEWITT. — *Application des accumulateurs aux lignes de tramways de grande longueur.* — Résumé d'une conférence, faite par l'auteur, sur la ligne de tramway de Chestnut Hill, dépendant du réseau de Philadelphie.

—— (10 juillet 1897) : ANONYME. — *Emploi de l'acétylène dans les moteurs à gaz.* — Courte description des essais faits récemment par M. Cuinat à Compiègne.

—— (17 juillet 1897) : F. GUILBERT. — *Machines dynamo-électriques.* — Courte description de récents perfectionnements apportés aux dynamos et moteurs par MM. Ferranti, Johnson et Steel, Jackson et Lewis.

—— (17 juillet 1897) : ANONYME. — *L'électricité à l'Exposition de Bruxelles.* — Indication des groupes de machines servant à l'éclairage de l'Exposition; description des appareils exposés par quelques maisons de construction.

—— (17 juillet 1897) : PARRISH. — *Signal pour tramways électriques.* — Description d'un signal prévenant de l'approche d'une voiture à un croisement.

—— (24 juillet et 7 août 1897) : F. ROSSEL. — *Télégraphie sous-marine.* — Description du nouveau récepteur Ader, pour transmission sous-marine sur le câble de Brest à Saint-Pierre-Miquelon, puis plus récemment sur les câbles de Marseille à Alger. Les résultats semblent très satisfaisants, et on a obtenu une sérieuse augmentation de la rapidité des transmissions et du débit.

—— (24 juillet 1897) : J. BLONDIN. — *Recherches récentes sur l'ozone.* — Préparation de l'ozone par les procédés industriels de M. Andréoli et compte rendu d'une thèse de M. Otto; rappel des propriétés de l'ozone; son emploi dans la préparation de la vanilline.

—— (24 juillet 1897) : BIJUR. — *Régulation des transformateurs.* — Recherche des différentes causes de chute de potentiel aux bornes secondaires d'un transformateur à tension primaire constante.

—— (24 juillet 1897) : HOWELL. — *Sur l'emploi des lampes à incandescence à 110 volts et à 220 volts.* — Extrait d'un article de *The Electrical World* du 5 juin 1897, analysé plus loin (p. 415).

Éclairage électrique (24 juillet 1897) : ANONYME. — *La station centrale à vapeur, à courants alternatifs de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.* — Longue analyse d'un article de M. Jehl dans *The Electrician* du 18 juin 1897, cité plus loin (p. 421).

—— (31 juillet 1897) : G. PELLISSIER. — *Chemins de fer et tramways électriques.* — Étude de quelques perfectionnements dans le matériel roulant des chemins de fer et tramways électriques d'après de récents brevets, anglais et américains ; trolet à plateau de Hensh et Brandt, régulateur de la Steel Motor Company, régulateurs W.-B. Potter et F.-E. Case, régulateur Baxter, frein électrique Case, frein Kinzer.

—— (31 juillet, 28 août et 18 septembre 1897) : J. JACQUIN. — *L'éclairage électrique des véhicules des chemins de fer du Jura-Simplon.* — Étude intéressante sur l'éclairage par accumulateurs des trains du Jura-Simplon, et courte description des usines de charge de Fribourg et de Bienne.

—— (31 juillet 1897) : RENARD. — *Les applications de l'électricité comme force motrice à l'agriculture.* — Description des résultats obtenus avec les treuils pour labourage électrique de M. Prat ; extrait d'un mémoire publié dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de mai 1897. Ce dernier comprend un historique très détaillé et bien illustré de tous les essais de manœuvre électrique des machines agricoles exécutés depuis trente ans.

—— (31 juillet 1897) : MARTIN. — *Utilisation diurne des stations centrales d'éclairage électrique.* — L. BELL. — *Rapports de l'Association américaine d'éclairage électrique sur l'étalonnage des lampes à incandescence.* — Analyse des rapports présentés par ces deux auteurs à la réunion annuelle de la « National Electric light Association », tenue à Niagara Falls en juin dernier.

—— (31 juillet 1897) : ANONYME. — *Chauffage des chaudières par l'incinération des ordures à Shoreditch.* — Extrait d'un article de *The Electrician* de Londres du 9 juillet 1897, mentionné plus loin (voy. *Périodiques anglais*, p. 424)

—— (31 juillet 1897) : ANONYME. — *Enrichissement du gaz d'huile par l'acétylène pour l'éclairage des wagons.* — Récentes applications faites par la maison Pintsch sous le contrôle de l'administration des chemins de fer de l'État prussien.

—— (7 août 1897) : F. VOGEL. — *Détermination des intensités des courants dans les transmissions par courants polyphasés.* — Détermination mathématique des expressions générales des intensités des courants dans les circuits d'une distribution par courants alternatifs triphasés ; étude de la solution dans le cas où les

tensions sont sinusoïdales et décalées entre elles d'angles quelconques ; démonstration de la possibilité de transmettre trois courants alternatifs dont les différences de phases ne sont pas 60 ou 120 degrés.

Éclairage électrique (7 août 1897) : G. Pellissier. — *Chemins de fer et tramways électriques.* — Analyse de brevets concernant les perfectionnements apportés dans la distribution du courant: trolet Keithley, contact Potter pour pont tournant, appareil de mise à la terre Ulbricht, coupe-circuit automatique de Rowland; conduites souterraines de Doyle et Mac Kenny, de Munson, Rosenholz et Poehlman ; canivéau Krotz, Allen et Kelly.

—— (7 août 1897) : H.-K. Landis. — *Chemin de fer à rail central de Nantasket Beach.* — Analyse d'un article paru dans l'*Electrical Engineer* de New-York (9 juin 1897).

—— (7 août 1897) : E. Thomson. — *Sur l'économie comparée des lampes à arc à l'air libre et à arc enfermé.* — Résumé d'une intéressante communication faite à la « National Electric Light Association », réunion de Niagara, juin 1897.

—— (7 août 1897) : *Les avantages des moteurs à gaz.* — Courte analyse d'une conférence de M. Dowson aux Ingénieurs civils de Londres.

—— (7 août 1897) : Anonyme. — *Rapport sur les dangers de la production de l'électricité et projet anglais de réglementation.* — Extrait de *The Electrician* (16 juillet 1897) (voy. p. 424).

—— (21 août 1897) : S. Hanappe. — *Installation à courants diphasés du laboratoire de l'Ecole spéciale de Mons.* — Description du matériel à courants alternatifs diphasés de l'Ecole de Mons et résultats des essais.

—— (21 août 1897) : Anonyme. — *Nouvelle lampe Bardon à potentiel existant par courants continu et alternatif*, type à frein de 1897. — Description des nouvelles lampes et des bobines de self-induction employées.

—— (21 août 1897) : F.-R. Low. — *Sur les causes des consommations exagérées de courant dans les stations centrales d'éclairage électrique.* — Étude des différentes causes de pertes de rendement dans les stations centrales, chaudières et machines à vapeur.

—— (21 août 1897) : Anonyme. — *La station centrale à vapeur à courant alternatif de Bolton* (Angleterre). — Résumé d'un article de MM. Lomas et Gunton dans *The Electrician*, mentionné plus loin.

Éclairage électrique (21 août 1897) : Anonyme. — *Un pont tournant de 2.000 tonnes mû par l'électricité.* — Courte description du pont tournant électrique reliant les deux rives de Saint-Louis entre Duluth et Superior.

—— (21 août 1897) : Anonyme. — *Le métropolitain électrique de Londres.* — Courte note sur l'état actuel des travaux et sur les futures installations.

—— (21 août 1897) : G. Pellissier. — *Chemins de fer et tramways électriques.* — Analyse des brevets récents sur les contacts superficiels à commutateurs mécaniques, voie Krizik, contact superficiel Allen et Peard, canalisation Mégroz, procédé Bersier.

—— (21 août 1897) : C.-J. Benjamin. — *Transmissions électriques et transmissions mécaniques dans les ateliers.* — Analyse d'un mémoire paru dans *Machinery* de New-York ; dépenses comparées des deux genres de transmissions.

—— (21 août 1897) : Anonyme. — *Éclairage électrique des trains.* — Résumé de l'étude publiée par M. F. Schiff dans *le Génie civil* des 31 juillet et 7 août 1897.

—— (4 septembre 1897) : E. Dieudonné. — *Les tramways électriques d'Enghien-Saint-Gratien-Montmorency.* — Description de l'installation des tramways électriques faite par la Compagnie générale de Traction à Enghien : structure de la voie, ligne aérienne, matériel roulant ; description de l'usine, de son matériel mécanique et de son matériel électrique.

—— (4 septembre 1897) : G. Richard. — *Applications mécaniques de l'électricité.* — Analyse du mémoire de M. Benjamin aux Ingénieurs civils de Londres, déjà mentionné ci-dessus : riveuse Rowan, embrayages électromagnétiques, machine à four Walker, palan Lounsbury, pont roulant Wellman, pont roulant Morgan, pont roulant Frisbie, treuil Frisbie.

—— (4 septembre 1897) : G. Pellissier. — *Chemins de fer et tramways électriques.* — Étude des brevets étrangers sur les contacts superficiels à commutateurs électromagnétiques : canalisation Sundell, canalisation Rice, commutateur Lundell et Johnson.

—— (4 septembre 1897) : J.-E. Woodbridge. — *Fonctionnement des alternateurs en parallèle.* — Analyse d'un article de l'auteur publié dans l'*Electrical Engineer* de New-York, étudiant l'influence des moteurs à vapeur et principalement de la chute de vitesse avec la charge sur la répartition des charges des génératrices à courants alternatifs fonctionnant en parallèle.

—— (4 septembre 1897) : Anonyme. — *Projet d'une transmission*

électrique de 128 kilomètres de longueur. — Note sur la transmission projetée par la Southern California Power Company.

Éclairage électrique (4 septembre 1897) : ANONYME. — *Statistique des stations centrales en Allemagne.* — Traduction des tableaux de l'*Electrotechnische Zeitschrift*, cités précédemment, résumant la situation des stations centrales allemandes au 1er mars 1897.

—— (11 septembre 1897) : P. DUPUY. — *La traction électrique sur les canaux.* — Description des procédés de halage et de propulsion électrique employés par la Société Denèfle et Cie ; compte rendu des expériences faites récemment sur les canaux de l'Aire et de la Deule entre Marles et Pont-à-Vendin ; description des usines ; prix d'établissement.

—— (11 septembre 1897) : F. GUILBERT. — *Machines dynamo-électriques.* — Étude des récents brevets anglais ; égaliseurs de charge Parshall pour le fonctionnement en parallèle des alternateurs ; dispositifs de Siemens pour déterminer le sens du glissement relatif de deux alternateurs avant la mise en parallèle ; moteurs Greenwood, Rees ; moteur synchrone Frazer avec redresseur de courant.

—— (11 septembre 1897) : G. PELLISSIER. — *Chemins de fer et tramways électriques.* — Suite de l'article du 4 septembre ; système Mac Laughlin, canalisation et commutateur Esmond, conduite Reagan.

—— (11 septembre 1897) : T.-P. WIMSHURST. — *Les compteurs d'électricité.* — Résumé d'une communication de l'auteur à l'Association municipale d'Électricité de Manchester, sur les divers compteurs et leur degré de précision.

—— (11 septembre 1897) : R. KLASSON. — *Influence des moteurs synchrones sur le facteur de puissance des stations centrales à courants alternatifs.* — Analyse d'un article de l'auteur publié dans l'*Electrotechnische Zeitschrift*, et déjà signalé, où il indique les résultats des mesures faites à la poudrière impériale d'Okhta (Russie) (voy. 2e trimestre 1897, *Périodiques allemands*, p. 411).

—— (18 septembre 1897) : G. PELLISSIER. — *Exploitation des stations centrales, tarifs de vente.* — Étude très intéressante résumant l'état de la question des différents régimes de tarification adoptés dans l'exploitation des stations centrales. Exposé général ; bases des calculs ; applications diurnes ; tarif unique ; tarif unique avec escompte ; vente à forfait ; tarif composé de Hopkinson ; coefficient de consommation ; valeur comparée des différentes clientèles ; nouvel indicateur de consommation maxima

de Wright, et tarif différentiel de Wright, employé avec grand succès à Brighton ; installation des lampes et des branchements ; location des compteurs ; cas des utilisations très courtes ou très longues.

Éclairage électrique (18 septembre 1897) : A. Hess. — *Travaux de l'Association britannique.* — Comptes rendus : de la discussion d'un mémoire de M. Preece sur les perturbations électriques dans les câbles sous-marins ; d'une étude de M. Anderson sur deux ponts roulants ; d'un mémoire de M. Cottrell sur le chemin de fer électrique de Liverpool ; et d'une note de M. Walker sur l'emploi des lampes à incandescence en série.

— (25 septembre 1897) : Anonyme. — *Sur l'utilisation pour le chauffage de la vapeur d'échappement des usines électriques.* — Résumé de différents articles de MM. J.-H. Babcock et G.-L. Thayer.

— (25 septembre 1897) : E. Wilson. — *Les dimensions, poids et prix relatifs des machines dynamos.* — Compte rendu d'une conférence faite par l'auteur à l'Association des Ingénieurs électriciens de Londres.

— (25 septembre 1897) : E. Sartiaux. — *L'éclairage électrique des trains du chemin de fer du Nord.* — Analyse d'un mémoire publié dans *les Annales télégraphiques.*

Industrie électrique (25 juin 1897) : F. Feer. — *Machine unique pour distribution à trois fils.* — Explication du fonctionnement théorique des dynamos à courant continu pour distribution à trois fils de MM. Dettmar et A. Rothert ; cette dernière a été construite par la Société Lahmeyer de Francfort. C'est une machine bipolaire avec pôles coupés en deux parties, et trois balais, deux placés comme d'ordinaire et un entre les deux premiers ; cette machine a déjà été mentionnée dans les comptes rendus (voy. 2e trimestre 1897, *Périodiques allemands*, p. 411).

— (25 juin 1897) : E. Hospitalier. — *Les automobiles électriques.* — Suite de l'étude déjà citée (voy. 2e trimestre 1897, *Périodiques français*, p. 401) sur les automobiles ; leur évolution de 1881 à 1897 ; description du phaëton électrique Jeantaud, des « électrobats » Morris et Salom, de la voiture électrique Sturges, du dog-cart électrique de Riker, du coupé Darracq, des hansom cab et coupé de « The electric Carriage and Wagon C° », et des voitures de « The american Vehicle C° ». Nombreuses illustrations.

Industrie électrique (10 et 25 juillet 1897) : W.-H. Mordey. — *Dynamos à courants continus.* — Reproduction d'un mémoire de l'auteur sur les progrès réalisés dans la construction des dynamos à courant continu ; enroulement induit spécial de l'auteur permettant d'augmenter la puissance spécifique des dynamos par suite de la diminution de la réaction d'induit ; expérience pour prouver l'absence d'effort mécanique sensible sur les conducteurs des induits à trous ou des induits dentés.

—— (25 juillet 1897) : J. Laffargue. — *Les stations centrales d'énergie électrique en Allemagne.* — Statistique des stations centrales en Allemagne, d'après l'*Electrotechnische Zeitschrift ;* état actuel et accroissement des stations centrales, détail de leur puissance, système de distribution.

—— (25 juillet 1897) : Anonyme. — *Nouveau dynamomètre de transmission.* — Description du dynamomètre de M. F. Bedell, basé sur l'emploi d'un accouplement élastique entre deux plateaux munis de fentes courbes.

—— (10 août 1897) : E. Boistel. — *Turbine Hercule-progrès.* — Description de la turbine Hercule-progrès de MM. Singrün frères d'Épinal, applicable à la conduite des dynamos. Comparaison des rendements de la turbine Hercule primitive en fonction des degrés d'admission avec ceux de différentes turbines d'autres constructeurs. Comparaison des turbines Hercule primitives avec les turbines Hercule-progrès.

—— (25 août 1897) : Luxenberg. — *Le moteur shunt pour les tramways électriques.* — Analyse de l'article de l'auteur paru dans l'*Electrotechnische Zeitschrift* du 4 mars 1897 ; celui-ci critique un article de M. Baxter dans l'*Electrical World* sur les prétendus avantages des moteurs shunt appliqués à la traction et montre que ces avantages n'apparaissent que sur les fortes déclivités.

—— (10 septembre 1897) : A. Prepognot. — *Recherches récentes sur l'ozone.* — Analyse d'une thèse de M. Otto sur ce sujet.

A. B.

X. — Architecture.

Le Génie civil (28 août 1897) : G. Renel. — *Château d'eau de Norton pour l'adduction des eaux de Vyrnwy à Liverpool.* — Le réservoir d'eau, en métal, cylindrique, avec un fond en forme de calotte sphérique, mesurant 24 mètres de diamètre, 9^{m},75 de profondeur maximum et 29.000 mètres cubes de capacité, est

porté par une tour en maçonnerie de grès rouge de 35 mètres de hauteur. Cette tour, qui domine la plaine, offre, avec son soubassement à puissants bossages, ses grandes baies comprises entre de vigoureux pilastres doriques et son robuste couronnement, un remarquable aspect monumental.

X. — Administration. — Législation.

Revue générale des Chemins de fer (août 1987) : Liharzick. — *Conférences sur la tarification faites à Vienne* (en février 1897).

XII. — Divers.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (août 1897) : R. Soreau. — *Le problème général de la navigation aérienne.* — Il y a trois solutions théoriques : l'utilisation des courants aériens ; la direction des ballons (le moins lourd que l'air) ; l'aviation (le plus lourd que l'air). — L'auteur étudie d'abord le vol des oiseaux, puis l'aéroplane navire, dont il examine diverses dispositions (Maxim. Philips) et dont il donne la théorie.

Le Génie civil (17 juillet 1897) : *La vie et les travaux de Perronet, premier directeur de l'École des Ponts et Chaussées.* — Article biographique étendu, donné à l'occasion de l'inauguration de la statue de Perronet, dans la ville de Neuilly, faite le 3 juillet, sous la présidence de M. Turrel, ministre des Travaux publics.

F. D.

PÉRIODIQUES ALLEMANDS.

I. — Sciences appliquées.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules IV à VI) : R. Jasmund. — *La variation des vitesses dans la section transversale d'un cours d'eau.* — L'article, accompagné de deux planches d'atlas, contient les deux premiers chapitres d'une étude mathématique

de cette question ; le premier chapitre traite de la variation des vitesses dans un cours d'eau libre, le second s'occupe de la vitesse de l'eau par obstacles isolés à la surface ; il compare les résultats d'expériences à ceux du calcul.

III. — Routes, Ponts et Viaducs.

Centralblatt der Bauverwaltung (1897, nos 12, 13 et 14) : Karl Henneking. — *Concours pour l'établissement d'un pont-route sur l'Elbe, près de Harbourg.* — La ville de Harbourg, qui est située sur la rive gauche de l'Elbe et qui, depuis la rectification de ce fleuve, a d'importantes relations commerciales avec Hambourg, n'est reliée jusqu'à présent que par un pont de chemin de fer et un bac à vapeur avec la rive droite de l'Elbe, la place de Wilhemsbourg et la ville de Hambourg. Un concours a été ouvert pour l'établissement d'un pont-route en métal. Les conditions de ce concours sont les suivantes. L'ouvrage doit être établi à 240 mètres environ en aval du pont du chemin de fer, et son tablier doit être tout entier au-dessus des hautes eaux (cote $5^m,50$). La largeur de la voie est de 6 mètres entre trottoirs de $1^m,50$ et on doit réserver la possibilité d'élargir plus tard cette voie jusqu'à 8 mètres. Pour le calcul des pièces de pont, on admet une charge de 2 files de voitures avec essieux portant 5 tonnes, et sur les trottoirs une surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré. Pour le calcul des poutres principales, on admet une charge uniformément répartie de 350 kilogrammes par mètre carré. La pression du vent est supposée égale à 250 kilogrammes par mètre carré, le pont n'étant pas chargé, et à 150 kilogrammes par mètre carré, le pont étant chargé à 3 mètres de hauteur. Le maximum de la dépense est fixé à 2.100.000 marks, ou 2.625.000 francs.

Le pont de chemin de fer comprend, sur le fleuve, 4 travées de 100 mètres et, sur la rive droite, 6 travées de 30 mètres en moyenne. Sur les dix projets présentés au concours, neuf se sont inspirés de cet exemple en ce qui concerne la répartition de l'ouverture des travées. Un seul projet comporte une ouverture centrale de $203^m,60$ et deux travées latérales de $101^m,80$. Cette solution n'est pas heureuse au point de vue de la navigation ; les bateaux qui auraient traversé la grande travée apercevraient tout à coup, à 200 mètres environ, la pile du pont

du chemin de fer; en outre les dépenses de construction se trouvent augmentées.

L'article donne la description des différents projets présentés, en s'attachant spécialement aux quatre projets primés. Les prix de revient et les poids par mètre de ces quatre projets sont les suivants :

	DÉPENSE totale	POIDS DE MÉTAL par mètre courant	PRIX pour 1 tonne de fer (pont sur le fleuve)
	francs	tonnes	francs
1er Prix....	2.254.278	5,69	412,50
2e —	2.050.333	4,54	400
3e —	2.567.112	6,05	577,80
4e —	2.493.022	5,88	400

Centralblatt der Bauverwaltung (1897, n° 13, A) : *Le viaduc de Müngstein.* — L'article fait connaître qu'après beaucoup d'efforts et des travaux d'hiver très dangereux on est enfin parvenu, du 15 au 22 mars 1897, malgré le mauvais temps, à fermer la grande travée centrale du viaduc de Müngstein, et, par suite, à assurer l'achèvement de ce grand ouvrage. Ce viaduc, qui rappelle, par ses dispositions et ses proportions, celui de Garabit, a été décrit dans le *Centralblatt der Bauverwaltung* (1895, nos 161 et suivants). Commencé en juillet 1893, il a été terminé à la fin de l'hiver 1896-1897.

Zeitschrift des Architekten-und Ingenieur Vereins, zu Hannover (1896, fascicules 1-2) : Reihling. — *Ponts en pierre et en béton avec voûtes articulées.* — L'article est consacré à la description de quelques ponts construits dans ces dix dernières années dans le Wurtemberg d'après les plans de M. le Président de Leibbrand, directeur des routes et de la navigation de cet État ; ces ponts sont en maçonnerie et donnent tous passage à des routes. Ils présentent cette particularité d'avoir des voûtes en arc de cercle relativement minces avec trois articulations, l'une à la clef, les deux autres aux joints de rupture ; ces articulations sont formées par des lames de plomb de 20 millimètres d'épaisseur et d'une largeur de 10 à 20 centi-

mètres, placées, d'une part, entre les voussoirs des joints de rupture et, d'autre part, entre la double rangée de voussoirs qui constituent la clef de voûte. Ce procédé permet de faire passer la courbe des pressions par trois points donnés et, par suite, de diminuer l'épaisseur de la voûte, sans augmenter dans une trop forte proportion le travail des matériaux.

Les ponts décrits dans cet article sont les suivants :

Pont sur la Murg, près de Baiersbronn, construit en 1889. L'ouverture est de 33 mètres ; la hauteur de la clef au-dessus des naissances, de 3^m,30. La voûte est en pierres ;

Pont sur le Forbach, près de Baiersbronn, construit en 1890; ouverture, 25 mètres ; hauteur de flèche, 3 mètres ; la voûte est en pierres ;

Pont sur le chemin de fer de la vallée du Danube, près d'Ehingen : construit en 1891 ; ouverture, 18 mètres ; hauteur de flèche, 3^m,60; le corps de la voûte est en ciment avec pierres noyées dans la masse; les bandeaux de tête sont en pierres.

L'article décrit encore un autre pont construit en 1893 sur le Danube, près de Munderkingen ; l'ouverture est de 50 mètres ; la hauteur de flèche, de 5 mètres. Le corps de la voûte est aussi en béton, avec bandeaux de tête en pierres. Mais dans cet ouvrage les articulations ne sont pas formées de lames de plomb ; chacune d'elles est constituée au moyen de deux plaques de fer, entre lesquelles se trouve l'axe de l'articulation, faite de deux morceaux d'acier dont la partie frottante est cylindrique.

Ce même système doit être appliqué à un autre pont sur le Neckar près de Hochberg, dont le projet est décrit dans ce même article. L'ouvrage sera constitué par une voûte en béton en arc de cercle de 62 mètres d'ouverture, avec 6^m,25 de hauteur de flèche ; il aura des articulations en fer aux naissances et à la clef. L'épaisseur de la voûte sera de 1^m,25 aux naissances, de 1^m,15 à la clef et de 1^m,50 à mi-hauteur environ de la montée. La largeur de l'ouvrage entre parapets est de 3^m,50. La dépense est évaluée à 60.000 francs.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules IV à VI) : Teichgräber. — *Renforcement de la superstructure métallique du pont sur la Hafel près de Rathenow.* — La ligne de Berlin à Lehrte, construite de 1868 à 1871, traverse la Hafel à 2 kilomètres environ de la ville de Rathenow sur un pont métallique biais à

65 degrés, de 176 mètres de longueur environ, en cinq travées. Le pont est à deux voies ; l'ouverture droite entre les piles est de 29 mètres ; et les travées ont une portée de 33m,894. Les poutres principales, du système Schwedler, sont distantes de 8m,212 d'axe en axe ; leur hauteur au milieu est de 4m,708, et les montants verticaux, au nombre de huit par poutre, sont distants de 3m,776.

Le plancher de l'ouvrage est constitué, en dehors des deux pièces transversales obliques qui reposent à chaque extrémité sur les piles, par neuf pièces de pont droites, de 7m,794 de portée, entre lesquelles sont fixées quatre poutres longitudinales en treillis à 1m,726 de distance ; sur les poutres sont placées, à 0m,94 l'une de l'autre, les traverses en bois, qui supportent les rails.

Le renforcement de cet ouvrage est devenu nécessaire en raison de l'accroissement du poids des locomotives ; d'après les calculs faits, le travail du métal atteignait 10kg,42 par millimètre carré dans les pièces de pont et variait de 11 kilogrammes à 11kg,74 dans les plates-bandes et les barres des poutres principales.

Le renforcement, effectué sur les différentes parties du pont, et dont une planche d'atlas donne tous les détails, a été réalisé par l'addition de fers en **T**, en double **T**, cornières et fers plats, fixés au moyen de nouveaux rivets sur l'ancienne ossature du pont. Il s'est effectué sans interrompre l'exploitation et a coûté environ 150.000 francs. Il s'est traduit par une augmentation de poids du métal de 46.235kg,094 par travée, soit 231.175kg,47 pour l'ouvrage entier.

IV. — Navigation intérieure.

Allgemeine Bauzeitung (1897, fascicule II) : Alfred Ritter Weber d'Ebenhof. — *La régularisation de la Thaya.* — Long article, accompagné de deux cartes et donnant, en seize chapitres, l'historique et l'étude de la question de la régularisation de la rivière Thaya, située en Autriche-Hongrie, avec mention des diverses difficultés et oppositions qui l'ont empêchée d'aboutir.

Centralblatt der Bauverwaltung (1897, n° 8) : Garbe. — *Le trafic du port de Berlin pendant l'année* 1896. — Les chiffres ci-des-

sous montrent en tonnes l'augmentation de ce trafic depuis l'année 1888 :

	1888	1891	1894	1895	1896
Transit.....	326.111	427.581	650.397	480.687	689.285
Arrivages...	4.229.540	4.777.073	4.534.420	4.610.787	4.795.772
Expéditions..	339.748	396.668	496.342	482.310	483.552

Le mouvement de la batellerie est représenté par les chiffres ci-dessous, qui donnent le nombre des bateaux :

	1888	1891	1894	1895	1896
Transit.........	3.657	4.215	5.754	4.161	4.473
Arrivages.......	46.307	46.599	44.324	47.984	71.754
Expéditions.....	46.187	45.754	43.762	47.369	71.539

L'augmentation considérable du nombre des bateaux en 1896 est due à l'Exposition industrielle, qui a eu lieu à Berlin, dans le parc de Treptow, au cours de cette année.

Le trafic local, c'est-à-dire comprenant seulement les arrivages et les expéditions, a suivi la progression indiquée par les chiffres ci-dessous (en tonnes) :

1886	1891	1896
3,928.740	5.173.741	5.279.324

Le nombre des bateaux à vapeur pour le transport des personnes (au départ), qui était de 7.343 en 1895, est monté à 27.546 en 1896 ; le nombre des remorqueurs à vapeur a passé de 5.469 à 9.763 ; mais le nombre des bateaux à voiles a baissé de 33.926 à 33.547 (dont 29.391 à vide) avec un tonnage de 4.937.351 tonnes.

Au point de vue des arrivages, le mouvement de la batellerie donne 27.475 bateaux à vapeur pour le transport des personnes, 9.767 remorqueurs à vapeur, 694 bateaux à vapeur pour marchandises (contre 628 en 1895) avec un tonnage de 73.374 tonnes et un chargement de 52.657 tonnes, et 33.818 bateaux à voiles (dont 2.657 à vide) avec un tonnage, de 5.018.314 tonnes et un chargement de 4.743.115 tonnes.

Au transit, il y avait 114 remorqueurs à vapeur, 29 bateaux à vapeur pour marchandises (contre 2 seulement en 1895), avec un chargement de 1.070 tonnes et 4.330 bateaux à voiles (dont 110 vides) avec 688.215 tonnes de marchandises.

Au flottage, il y a eu, en 1896, 33 radeaux chargés de 7.022^{T},0, en transit, et 63 radeaux chargés de 3.633 tonnes, à destination de Berlin.

Le trafic des arrivages comporte 2.913.577 tonnes à la remonte et 1.882.196 tonnes à la descente; celui des expéditions se décompose en 191.728 tonnes à la remonte et 291.825 tonnes à la descente ; enfin le transit comprend 249.751 tonnes à la remonte et 439.534 tonnes à la descente.

Dans le trafic des arrivages les plus gros chiffres sont donnés par les marchandises suivantes : la terre, l'argile, le sable et le caillou (108.831 tonnes à la remonte, 776.517 tonnes à la descente), le bois tendre débité (189.782 tonnes à la remonte), les pierres (100.833 tonnes à la remonte et 48.008 tonnes à la descente), le charbon (394.271 tonnes à la remonte et 383.843 à la descente), les tuiles, les briques et les tuyaux en poterie (1.206.595 tonnes à la remonte et 377.730 à la descente).

Les expéditions portent surtout sur la terre, l'argile, le sable et le caillou (77.995 tonnes à la remonte et 29.044 à la descente) et sur les engrais (15.052 tonnes à la remonte et 15.108 à la descente).

Oesterreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (janvier 1897) : *Le canal du Danube à la Moldau et à l'Elbe.* — Un concours a été ouvert en vue de l'étude d'un projet de canal de navigation partant du Danube, près de Vienne, dans la direction de Budweis sur la Moldau, ainsi que pour la canalisation de la Moldau depuis l'embouchure du canal jusqu'à Melnik. Trois projets ont été présentés : celui de la maison A. Hallier et S. Dietz-Monin, qui se borne à la construction du canal ; celui de l'ingénieur Gröger et celui de la maison Lanna et Vering.

L'article donne la description de ces trois projets avec plans et profils à l'appui.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules I à III) : UNGER. — *La régularisation du cours du Rhin, entre Bingen et Saint-Goar.* — Les premiers travaux ont été commencés à l'automne de 1890. Le chenal avait à l'échelle de Bingen une profondeur de $1^{m},30$, sa largeur était fort petite et il présentait de fortes courbes qui rendent la navigation très difficile. L'objet du travail était d'obtenir un chenal d'une profondeur de 2 mètres et d'une largeur de 120 mètres.

Jusqu'à la fin de septembre 1896, les dépenses faites ont atteint la somme de 4 millions de francs environ. On a enlevé pendant cette période à peu près 180.000 mètres cubes de rochers, dont le prix a été de 12 fr. 95 le mètre cube.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules I à III) : Roessler. — *L'écluse d'entrée du port de Kostheim.* — La ville de Kostheim est située à peu de distance du confluent du Mein et du Rhin. Le port a coûté environ 625.000 francs, dont les 4/5 payés par la Prusse et 1/5 par la Bavière ; il a été ouvert le 1er juillet 1894; il sert à joindre par une ligne presque droite le Mein à Kostheim, avec le Rhin à Kostel, en suivant un trajet plus court que le cours naturel de l'eau. Il comporte une écluse d'entrée à Kostheim, ayant 12 mètres de longueur entre bajoyers; une écluse complète avec double porte aurait coûté fort cher et n'était pas nécessaire; il a suffi d'une simple fermeture établie à l'entrée et constituée par un système de vannes en acier tournant autour d'un axe horizontal fixé sur le fond de l'écluse et pouvant se rabattre sans faire aucune saillie sur ce fond et se relever au moyen d'une crémaillère, de manière à maintenir les eaux d'amont au niveau convenable.

Une passerelle métallique de 4 mètres de largeur, établie sur l'écluse, permet d'effectuer les manœuvres.

La dépense totale de l'ouvrage, y compris les vannes et la passerelle, s'est élevée à 79.400 francs.

V. — Travaux maritimes.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules I à III) : Fülscher. — *La construction du canal de l'Empereur-Guillaume.* — L'article, accompagné de deux planches d'atlas, continue la description précédemment commencée de ce grand travail, par celle des 12e, 13e, 14e, 15e et 16e lots, qui ont donné lieu à un déblai total de 20.200.000 mètres cubes, exécuté de 1891 à 1894. Le déblai total du canal s'est élevé à 82.177.000 mètres cubes, et la dépense totale à 89.360.000 francs.

—— (1887, fascicules IV à VI) : Suite de l'article précédent. — L'article, accompagné de nombreuses vues photographiques et de trois planches d'atlas, est consacré à la description des machines et bateaux employés pour l'exploitation des déblais, excavateurs fonctionnant à sec, excavateurs travaillant dans l'eau, aspira

teurs, élévateurs, etc. Il donne tous les détails du fonctionnement de chacun de ces appareils, leur rendement, le personnel employé, etc. Les excavateurs à sec étaient au nombre de 28, les excavateurs pour les déblais sous l'eau au nombre de 6 d'abord, auxquels on en adjoignit ensuite 2 plus petits. Le déblai total des 5 grands appareils a atteint le chiffre de 1.310.000 mètres cubes exécutés en 1.239 journées de 24 heures, soit un travail moyen de 1.060 mètres cubes.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules I à III) : Anderson. — *Histoire de la construction du port de Stolpmünde.* — Stolpmünde est un port de la mer Baltique, relié à la ville de Stolp par un embranchement de 17 kilomètres de longueur. Il a été fondé au milieu du xiv[e] siècle. L'article, accompagné de trois planches d'atlas, donne tous les détails de son développement jusqu'à l'année 1864.

—— (1897, fascicules IV à VI): Suite et fin de l'article précédent, donnant le développement du port de Stolpmünde jusqu'à l'année 1894 inclus. — Le nombre des bateaux entrant en 1864 était de 422, avec une contenance utilisée de 59.067 mètres cubes; le nombre des bateaux sortant était de 415 avec une contenance de 56.676 mètres cubes.

En 1894, les nombres correspondants étaient : navires entrant, 361, avec une contenance de 124.173 mètres cubes; navires sortant, 353, avec une contenance de 124.323 mètres cubes.

Le produit des droits de port, qui était en 1864 de 8.900 francs, s'élevait, en 1894, à 12.500 francs.

VI. — Chemins de fer. — Tramways.

Archiv für Eisenbahnwesen (1897, fascicule II, mars et avril) :

1° *Examen des tarifs des céréales en Russie, pendant l'année* 1896, par le docteur Mertens ;

2° *La vitesse des trains express*, par Blum. — Étude comparative de la vitesse des trains express dans les divers pays. Voici quelques chiffres extraits de ce travail, qui donnent la vitesse des trains les plus rapides en Allemagne, en France, en Hollande, en Autriche-Hongrie, en Belgique et en Angleterre :

PARCOURS	DISTANCE	TEMPS du trajet	NOMBRE d'arrêts	VITESSE DU TRAIN le plus rapide	
				VITESSE du trajet	VITESSE de marche
	km.	minutes		km. à l'h.	km. à l'h.
Berlin-Hambourg..	286,3	216	1	79,5	82,6
Paris-Calais........	298	230	3	77,7	83,9
Gouda-Rotterdam..	28,2	17	»	99,5	112,8
Vienne-Buda-Pest..	278	230	3	72,6	78,3
Bruxelles-Ostende..	125,9	100	»	75,5	77,1
Londres-Édinbourg.	632	450	»	84,3	»

3° *Les chemins de fer en Alsace-Lorraine et dans le Luxembourg* (du 1er avril 1895 au 31 mars 1896). — Compte rendu statistique;

4° *La récolte des céréales et les chemins de fer en Allemagne*, en 1895, par C. Thamer. — Étude statistique;

5° *Les chemins de fer de l'État prussien en* 1895-1896, par O. Tolsdorff;

6° *Les chemins de fer portugais en* 1895;

7° *Les chemins de fer des États-Unis d'Amérique pendant les années* 1893-1894 *et* 1894-1895.

Archiv für Eisenbahnwesen (1897, fascicule III, mai et juin):

1° *Examen des tarifs des céréales en Russie pendant l'année* 1896, par le docteur Mertens (fin);

2° *La loi sur les chemins de fer danois, du* 24 *avril* 1896. — Organisation des chemins de fer de l'État danois, en vigueur depuis le 1er août 1896;

3° *Les chemins de fer du monde, de* 1891 *à* 1895. — La longueur totale des chemins de fer du monde en 1895 était de 698.356 kilomètres, ainsi répartis :

Amérique............	369.686	kilomètres
Europe..............	249.899	»
Asie.................	43.279	»
Australie............	22.349	»
Afrique..............	13.143	»

Les longueurs correspondantes en 1891 étaient les suivantes :

Amérique	342.330	kilomètres
Europe	227.795	»
Asie	35.441	»
Australie	19.829	»
Afrique	10.496	»

au total 635.791 kilomètres.

L'accroissement total est donc de 62.465 kilomètres, soit 9,8 0/0.

En Europe, le réseau le plus étendu est celui de l'Allemagne, avec 46.413 kilomètres et un accroissement de 2.989 kilomètres, ou 6,8 0/0. La France vient ensuite, avec 40.199 kilomètres et un accroissement de 2.476 kilomètres, ou 6,5 0/0. C'est la Russie qui donne la plus grande augmentation : 31.071 kilomètres en 1891 et 37.746 en 1895, soit un accroissement de 6.675 kilomètres, ou 21,4 0/0.

En Autriche-Hongrie, le réseau s'est augmenté de 1.980 kilomètres, ou 7 0/0 (passant de 28.066 à 30.046 kilomètres) ; en Espagne, de 1.892 kilomètres, ou 18,3 0/0 (passant de 10.255 à 12.147 kilomètres); en Italie, de 1.805 kilomètres, ou 13,7 0/0 passant de 13.139 à 14.944 kilomètres) ; en Suède, de 1.476 kilomètres, ou 17,7 0/0 (passant de 8.279 à 9.755 kilomètres).

Dans les autres parties du monde l'accroissement de la longueur des chemins de fer a été le suivant :

En Amérique	27.356 km.,	ou	7,9 0/0
— Asie	7.838	—	22,1 —
— Afrique	2.647	—	25,2 —
— Australie	2.520	—	12,7 —

Le prix de revient kilométrique des chemins de fer, à la fin de 1895, était le suivant :

En Europe	389.600 francs
En dehors de l'Europe	198.900.

Quant à la dépense totale d'établissement, elle ressort aux chiffres suivants (environ) :

En Europe	97.367 1/2	millions de francs
Dans les autres parties du monde	86.047 1/2	—

Soit, au total, plus de 183 milliards de francs (en moyenne 263.000 francs par kilomètre).

4° *Les tarifs de marchandises sur les chemins de fer de la colonie Victoria (Australie)*;

5° *Les chemins de fer de l'État bavarois pendant l'année* 1895. — Compte rendu statistique ;

6° *Les institutions de bienfaisance des chemins de fer de l'État bavarois;*

7° *Les chemins de fer de la Scandinavie pendant l'année* 1894-1895. — Compte rendu statistique.

Archiv für Eisenbahnwesen (1897, fascicule IV, juillet et août):

1° *Extension du réseau des chemins de fer de l'État prussien pendant l'année* 1897 *et participation de l'État à la construction des petites. lignes et à l'établissement d'entrepôts agricoles pour les grains.* — Compte rendu statistique ;

2° *Le métropolitain de Berlin : son développement pendant les années* 1892-93 à 1895-96 :

Les dépenses de construction ont atteint le chiffre de 26.730.000 francs. Le nombre des trains au 1er avril 1896 était de 507 en semaine et de 597 le dimanche. Le trafic en 1895-96 a été de 8.375.000 francs. Une carte du réseau est jointe à l'article ;

3° *Les chemins de fer russes pendant l'année* 1894. — Compte rendu statistique par le docteur Mertens ;

4° *Le service des barrières fait par les femmes*, par Schubert. — L'auteur évalue à une somme de 750 à 875 francs par an et par kilomètre l'économie que l'on peut faire en séparant le service des barrières de celui de la surveillance des voies et en confiant le premier à des femmes ;

5° *Les chemins de fer au Danemark pendant l'année* 1895-1896. — Compte rendu statistique.

Centralblatt der Bauverwaltung (1897, nos 17, A, et 19, A): Schubert. — *Les chemins de fer de l'Allemagne pendant l'exercice* 1895-1896. — Compte rendu statistique.

Longueur exploitée : 45.479 kilomètres. Recettes d'exploitation : 1.869 millions de francs. Dépenses d'exploitation : 1.046 millions 1/2 de francs, soit environ 56 0/0 des recettes.

Oesterreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (janvier 1897): *Quelques chemins de fer électriques en Allemagne,*

par FRANZ RITTER DE KREIM. — Description, avec plusieurs figures à l'appui, des lignes électriques établies à Dresde, à Berlin, à Lichterfelde, à Hambourg, à Hanovre, à Barmen, à Runscheid. Ces lignes ont été construites soit par la maison Siemens et Halske, soit par l'Union, compagnie d'électricité de Berlin.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (1897, fascicule I) : *Locomotive à crémaillère, système Abt.* — Il s'agit d'une locomotive à adhérence et à crémaillère, construite pour les chemins de fer de l'État, de la Bosnie et de l'Herzégovine par la Société viennoise de fabrication de locomotives, de Floridsdorf, près Vienne. La largeur de la voie est de 760 millimètres. La locomotive comprend, d'une part, la machine et la chaudière qui reposent sur les trois essieux couplés, utilisés pour l'adhérence et, d'autre part, le tender, porté par deux essieux. Le tender contient l'approvisionnement d'eau et de charbon et supporte, en outre, une partie du poids de la locomotive.

La machine possède deux mécanismes distincts pour chaque mode de traction ; ses éléments caractéristiques sont les suivants :

	Adhérence	Crémaillère
Diamètre des cylindres	340m/m	360m/m
Course des pistons	450	360
Diamètre des roues motrices	800	688
Empattement rigide	2340	1170
Diamètre des roues porteuses	650	»
Empattement total	6740	1170
Surface du foyer	7mq	
— des tubes	82	
— de chauffe totale	89	
Longueur des tubes	3450m/m	
Diamètre extérieur des tubes	42	
Nombre des tubes	180	
Surface de grille	1mq,66	
Timbre	12atm.	
Poids en ordre de marche	36t,5	

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules IV à VI) : SCHUBERT. — *L'espacement des traverses et la nature du ballast dans les voies*

de chemins de fer. — L'article, fort développé, fait suite à celui qui a été publié par le même auteur dans cette même revue (1896, fascicules I à III), et dont il a été rendu compte dans le numéro de septembre 1896 des *Annales* (p. 342). Les conclusions du nouvel article sont les suivantes et résultent d'expériences dont tous les détails sont donnés et qui ont été poursuivies pendant près de deux années :

1° Sous chaque traverse de chemin de fer il se forme, par le fait du bourrage et de l'enfoncement de la traverse dans le ballast, un corps en forme de coffre, dont la largeur et la hauteur dépendent de la distance des traverses et de la nature du ballast. Plus l'assiette de la traverse est large, et plus le coffre est large et élevé, et inversement.

2° Plus les traverses sont voisines l'une de l'autre, plus tôt devient compact l'espace compris entre elles et plus faibles sont les frais d'entretien et la consommation de ballast.

3° Les traverses métalliques complètement fermées (traverse n° 51 des chemins de fer de l'État prussien) subissent une perte importante dans la hauteur du bourrage, c'est-à-dire qu'après le bourrage elles s'abaissent rapidement d'une certaine quantité. Cette quantité est de 18 à 24 millimètres avec le ballast en gravier, de 10 à 14 millimètres avec le ballast en pierre cassée, tandis que pour la traverse à talon médian, de même que pour la traverse en bois, cette perte de hauteur atteint à peine la moitié des chiffres ci-dessus.

4° La traverse complètement fermée (n° 51) exige pour l'entretien de la voie deux fois autant de main-d'œuvre et consomme deux fois autant de ballast que la traverse à talon médian et la traverse en bois.

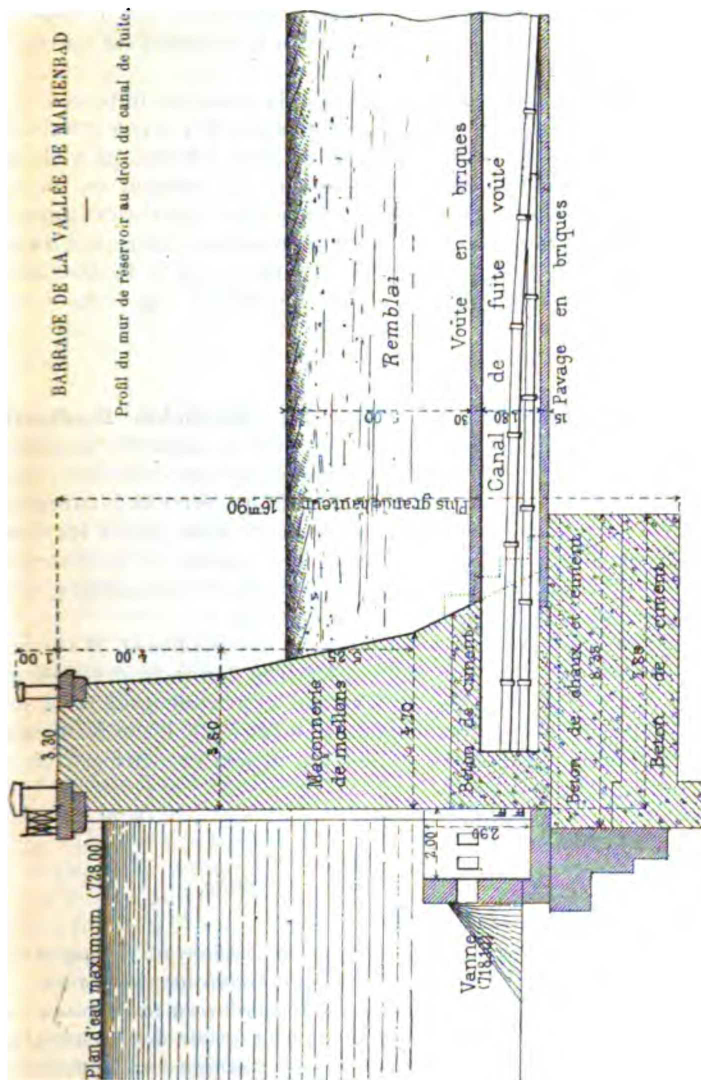
5° Le ballast en pierre cassée est supérieur au ballast en gravier ; au point de vue de la main-d'œuvre le premier vaut trois fois mieux, et au point de vue de la consommation, six fois mieux que le second.

6° Le ballast formé de pierres petites et conchoïdales convient mieux, pour la constitution d'une solide assiette des traverses, que la pierre en gros morceau de forme cubique.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Allgemeine Bauzeitung (1897, fascicule II) : Charles Kress. — *Le barrage de la vallée de Marienbad.* — Un barrage a été construit

récemment en travers de la vallée de Marienbad, pour former



un réservoir d'une capacité de 100.000 mètres cubes, destiné à

pourvoir aux besoins de cette localité, de plus en plus fréquentée comme ville d'eau. Le mur de retenue du réservoir, dont nous reproduisons le profil, a une longueur de 1.540 mètres et forme en plan une légère courbe, dont la convexité est tournée vers l'amont.

Sa plus grande hauteur au droit du canal de fuite est de 16^{m},90, y compris le massif de fondation. Il est contrebuté à l'aval par un vaste terre-plein formé d'un remblai qui s'élève jusqu'à 6 mètres environ au-dessous du sommet du mur. L'article, accompagné de deux planches et de plusieurs figures, donne tous les détails de la construction. Les travaux ont duré deux ans et demi, et ont coûté en chiffres ronds 160.000 florins, soit 336.000 francs. Ils ont été dirigés par l'ingénieur Emile Peters.

Oesterreichische Monaschrift für den öffentlichen Baudienst (février 1897) : *Le service hydrographique en Autriche, pendant l'année* 1896. — Une des parties importantes de ce service consiste dans la distribution des appareils qui servent à enregistrer automatiquement les phénomènes de pluie, savoir les ombrographes, qui donnent la durée et l'intensité de la chute et les limnigraphes (échelles d'enregistrement automatique) qui donnent le graphique des hauteurs d'eau.

Pendant la dernière année, 34 ombrographes et 38 limnigraphes ont été mis en service. L'article donne la description du limnigraphe modèle O. Schoffler, et renvoie pour celle de l'ombrographe système Iszkowski au fascicule IX de la même publication (année 1895). Plusieurs figures et deux planches sont jointes à l'article.

G. H.

IX. — Électricité appliquée.

Elektrotechnischer Anzeiger (29 août 1897) : Anonyme. — *Comparaison entre le gaz et l'électricité pour l'éclairage des trains.* — Résumé d'études et discussion de M. Gerder en faveur du système à gaz Poitsch, et de M. Büttner en faveur des accumulateurs électriques ; ce dernier système présente dès aujourd'hui la supériorité, même au point de vue des frais d'exploitation, qui sont indiqués.

Elektrotechnische Zeitschrift (22 juillet 1897) : Graetz. — *Redressement des courants alternatifs.* — Intéressante description du nouveau système réalisé par M. Pollack et dont l'idée première avait été indiquée en 1891 par nos compatriotes MM. Hutin et Leblanc. Ce système est une application de la polarisation de l'aluminium. On sait que, si dans un voltamètre on met une électrode en aluminium et l'autre en platine, le courant passe bien du platine à l'aluminium, mais non dans le sens inverse, parce que l'oxydation de l'aluminium au pôle positif recouvre ce métal d'une couche d'alumine isolante; lorsque la plaque aluminée est reliée au pôle négatif, l'alumine se trouve réduite par l'hydrogène naissant et le courant, peut recommencer à passer.

Une auge électrolytique construite d'après ce principe joue le rôle d'un vrai clapet électrique, et, si on l'intercale sur le trajet d'un courant alternatif, elle ne laisse passer le courant que dans une direction, ce qui donne lieu à un courant pulsatoire, mais toujours de même sens. Pour utiliser la seconde moitié de chaque période, il suffit de combiner avec la première auge une seconde tournée en sens inverse. D'après l'inventeur, le rendement de la transformation pourrait atteindre 35 0/0 (ce qui paraît devoir être au-dessus de la réalité pratique).

— (22 juillet 1897) : Rentsch. — *Suspension des lampes à arc.* — Description d'un nouveau mode de suspension utilisant les câbles à lumière eux-mêmes.

— (29 juillet 1897) : *Réglementation de l'Association des Ingénieurs allemands pour les installations électriques à haute tension.* — Règles nouvelles pour les précautions à prendre dans l'installation des appareils et des canalisations à haute tension intérieures ou extérieures. Elles doivent être lues *in extenso* et ne supportent pas l'analyse.

— (5 août 1897) : Anonyme. — *Les tramways électriques de Leipzig.* — Longue description de cette installation avec nombreuses figures. — Aucune particularité à noter; le système à trolet ordinaire est employé.

— (5 août 1897) : Findeisen. — *Installation des paratonnerres.* — Longue description, avec 42 figures, d'un nouveau dispositif de paratonnerres. La présentation de ce mémoire a été suivie d'une discussion devant la Société des Électriciens allemands et d'un long rapport de M. Strecker au nom d'une commission spéciale nommée il y a 12 ans, le tout assez diffus et vague; la discussion a fait ressortir de grandes divergences entre les idées des divers membres.

Elektrotechnische Zeitschrift (12 et 19 août 1897) : ANDREAS. — *Formation des aimants permanents en acier.* — Long article donnant la description et les résultats de recherches très approfondies ayant eu pour but de déterminer les conditions dans lesquelles peuvent être obtenus des aimants permanents de grande constance. De ces recherches et de celles d'autres auteurs, on conclut que l'acier trempé est meilleur que tout autre, mais que le temps pendant lequel il a été chauffé doit être aussi court que possible; pour rendre les aimants constants, il faut les tremper un grand nombre de fois pendant une minute alternativement dans l'eau bouillante et dans la glace fondante, 30 fois par exemple pour un aimant ayant une section de 7 millimètres, davantage pour les sections plus grandes.

—— (Août 1897) : ANONYME. — *Comptes rendus détaillés du Congrès annuel des Électriciens allemands,* tenu cette année à Eisenach. — Des rapports ont été présentés sur le règlement des installations à haute tension, sur les unités photométriques (celles du Congrès international de Genève ont été adoptées), sur l'unification des douilles de lampes à incandescence, etc.

—— (12 août 1897) : ARLDT. — *Système de signal à champ tournant.* — Description d'un nouveau système dû au Prof. Weber pour la transmission à distance des signaux sur cadran, notamment pour la transmission des ordres du capitaine au mécanicien sur les navires ou pour toute autre application analogue. C'est une ingénieuse application du principe des champs tournants, mais réalisée ici à l'aide de 3 courants continus variables, comme l'avait fait déjà Du Bois-Reymond.

Le transmetteur consiste en une résistance à boudin de forme circulaire analogue à un anneau Gramme ; aux trois prises de courant, placées à 120°, sont soudés les trois câbles transmetteurs qui vont au récepteur. Sur le boudin en fil nu se déplacent suivant un même diamètre les extrémités d'un levier isolant portant à ses extrémités deux contacts reliés l'un au pôle +, l'autre au pôle — d'une batterie.

Le récepteur est formé d'un anneau semblable, mais divisé en trois bobines séparées, reliées chacune par l'une de ses extrémités à l'un des fils transmetteurs, et reliées ensemble par l'autre bout.

On démontre que, dans ces conditions, il se produit un champ magnétique tournant, qui se déplace comme le levier du récepteur; ce champ entraîne une aiguille aimantée placée au centre de l'anneau.

Les avantages du système sont le nombre restreint de conducteurs nécessaires et l'influence nulle des variations de voltage de la batterie. Ces appareils ont déjà reçu plusieurs applications et peuvent rendre de réels services.

A. B.

X. — Architecture.

Allgemeine Bauzeitung (1897, fascicule II) : G.-A. Horst. — *La nouvelle église protestante de Munich (Saint-Lucas).* — Une troisième église protestante a été construite à Munich sur le quai de l'Isar, par M. Albert Schmidt : commencée au printemps de 1893, elle a été terminée à l'automne de 1896. L'article, auquel sont jointes 3 figures et 8 grandes planches, donne les détails de la construction. Il ne contient pas de renseignements sur les dépenses effectuées.

—— (1897, fascicule II) : L. Trzeschtik. — *La formation de l'art de la construction en Autriche et notamment du style gothique.* — Étude artistique et historique.

Oesterreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (février 1897) : F. Meldahl. — *La construction des églises protestantes.* — Description, avec plusieurs figures à l'appui, des églises protestantes de Cobourg, Eisenberg, Zerbst, Amsterdam, Leyde, etc.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur-wesen (1897, fascicule III) : K. Henrici. — *Le nouvel hôtel de ville de Leer.* — Article, accompagné de deux planches d'atlas, donnant le compte rendu de la construction de cet édifice, commencé en septembre 1890 et terminé en mars 1893. Dépenses de construction : 337.500 francs.

—— (1897, fascicule III) : Ross. — *Les constructions des villes en Italie.* — L'article traite successivement des villes de Milan, Gênes, Florence, Rome et Naples ; il donne l'histoire du développement des constructions et de l'établissement de certaines rues dans ces différentes villes, au fur et à mesure de l'augmentation de la population, jusqu'en 1894. On y trouve plusieurs types de maisons ouvrières à Naples.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules IV à VI) : *Le nouvel hôtel de ville de Halle.* — Description de cet édifice construit de 1891 à 1893 par l'architecte Émile Schreiterer. 5 planches d'atlas accompagnent l'article. Dépenses de construction : 975.000 francs.

—— (1897, fascicules IV à VI) : F. Adler. — *La cathédrale de Schleswig.* — Compte rendu des travaux de restauration de cette église. Dépenses totales : 595.000 francs. 5 planches d'atlas accompagnent l'article.

XII. — Divers.

Oesterreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst (janvier 1897) : Ferdinand Wang. — *La loi du mouvement des galets et la formation naturelle des profils en long et en travers des cours d'eau.* — L'article étudie successivement le mouvement des galets d'après la vitesse de l'eau, les érosions du sol et la formation naturelle du profil ; il contient une référence en ce qui concerne la « pente limite » ou le « profil de compensation » à l'étude sur les torrents des Hautes Alpes par Alexandre Surell et au mémoire sur les barrages de retenue des graviers dans les gorges des torrents par Philippe Breton.

G. H.

PÉRIODIQUES ANGLAIS.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

American Society of civil Engineers (mai 1897) : D.-D. Clarke. — *Déformations des conduites en tôle d'acier rivée, sous l'action des remblais.* — Étude sur les déformations subies par la conduite en tôle d'acier, destinée à l'alimentation de la ville de Portland, dont le diamètre varie de $0^m,84$ à $1^m,06$.

—— (Mai 1897) : A.-C. Cunningham. — *Relation entre la résistance et la composition chimique de l'acier.* — L'auteur, après avoir rappelé les travaux de M. Webster et Campbell sur ce sujet, donne la règle empirique suivante : Étant donnée la composition chimique d'un acier, on peut avoir sensiblement

sa résistance par millimètre carré, en ajoutant au chiffre de 28 kilogrammes une valeur de 7 kilogrammes par chaque 0,01 0/0 de carbone entrant dans sa composition, et également 7 kilogrammes par chaque 0,01 0/0 de phosphore entrant dans sa composition.

Un tableau résumant un assez grand nombre d'expériences directes montre que l'approximation ainsi faite est très suffisante.

American Society of civil Engineers (mai 1897) : J.-E. Greiner. — *Expériences sur la rupture de pièces de pont.* — L'auteur rend compte d'un certain nombre d'expériences faites pour rompre des pièces de pont de différents types ; des photographies intéressantes sont jointes au mémoire.

—— (Mai 1897) : Goldmark. — *Travaux de la « Pioneer-Electric Power Cie » pour la création d'une station de force motrice à Ogden (Utah).* — Les travaux, dont il est fait un compte rendu détaillé, ont pour but de créer une station de force motrice de 12.000 chevaux à Ogden. A cet effet, un réservoir de 68.152.500 mètres cubes est établi sur la rivière d'Ogden à $9^{km},631$ de la ville ; l'eau est amenée par une conduite de $1^{m},83$ de diamètre jusqu'à une usine hydraulique, où des turbines de système Knight commandent directement les générateurs électriques. Les turbines sont au nombre de 10 et développent chacune 1.200 chevaux de force à la vitesse de 300 tours par minute.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Engineering News (17 juin 1897) : R. Grimshaw. — *Décoration des grands ponts en Europe.* — L'auteur observe qu'on s'inquiète souvent, en Europe, de décorer les grands ponts ou les viaducs, de façon à leur donner un aspect architectural ou artistique. Il donne un certain nombre d'exemples tirés des derniers grands ouvrages établis à Londres, en Allemagne et en Autriche. Une série de vues photographiques accompagne cet article.

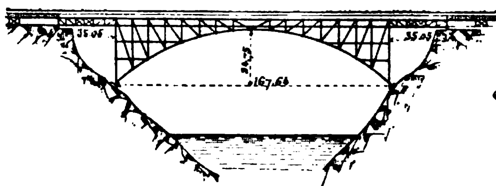
—— (8 juillet 1897) : *Pont tournant de Chicago.* — Cet ouvrage, établi sur la rivière Calumet, comporte une travée tournante de $75^{m},13$ de longueur, démasquant deux passes libres de $30^{m},479$ chacune de largeur.

Le mouvement du pont est produit par une machine à vapeur agissant sur un système de pignons.

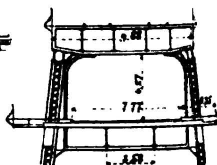
The Engineering Record (24 avril 1897) : *Pont en arc du Niagara Railroad.* — Un nouveau pont en arc a été construit sur le Niagara Railroad, à l'emplacement d'un ancien pont suspendu.

CONSTRUCTION DU NOUVEAU PONT EN ARC DU NIAGARA RAILROAD

Élévation générale

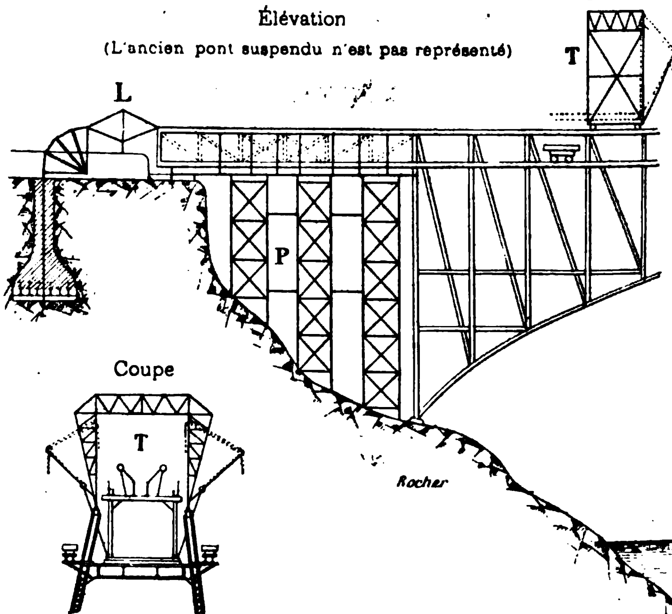


Coupe type

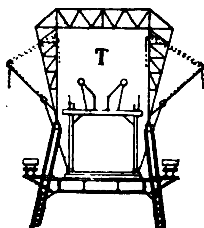


Montage du tablier

Élévation
(L'ancien pont suspendu n'est pas représenté)



Coupe



Cet ouvrage a 326 mètres de longueur totale, y compris les viaducs d'accès; la travée centrale, qui a 237m,75 entre appuis,

est supportée dans sa partie centrale par un arc de 167m,63 de portée avec une flèche de 34m,75.

Le pont supporte une voie charretière de 7m,77 de largeur, avec deux trottoirs pour piétons, en encorbellement, ayant chacun 3m,35 de largeur, et présente, au niveau supérieur, une plateforme de 9m,88 donnant passage à deux voies ferrées. Les poutres de rive présentent une inclinaison telle que la largeur de l'ouvrage est de 17m,30 au niveau des naissances.

L'ouvrage est tout en acier ; son poids total est de 3.265T,826.

La construction a été effectuée entièrement sans interrompre la circulation sur l'ancien pont suspendu, dont le tablier a été maintenu à l'intérieur du nouvel ouvrage.

Le travail a été attaqué simultanément sur les deux rives: on a d'abord établi un échafaudage P dans lequel est entré 7.078m3,750 de bois, entre les piles du pont suspendu et le point d'articulation du nouvel arc; sur cet échafaudage a été construit le tablier métallique supérieur; les deux poutres de ce tablier ont été réunies, par l'intermédiaire d'un balancier L, à un fort ancrage constitué dans le rocher. Une grue roulante T a dès lors permis de venir assembler le premier panneau de l'arc.

Le montage de l'arc a été ainsi opéré de proche en proche.

Deux voies de service ont été établies provisoirement pour l'approche des matériaux sur les trottoirs en encorbellement de l'étage inférieur du pont.

Le profil de la grue roulante a été constitué de façon à ne pas interrompre la circulation sur l'ancien pont suspendu.

La construction a été poussée avec la plus grande rapidité ; on a commencé les échafaudages de rive en septembre 1896; on a posé, le 18 décembre 1896, la première plaque d'acier devant supporter la butée de l'arc; on a entrepris, le 27 janvier 1897, la pose de l'ossature métallique. Le 30 mars, a été mis en place le panneau central; la pose a pu être exécutée grâce à un léger mouvement donné aux parties des poutres déjà mises en place, par l'intermédiaire du balancier L interposé dans l'ancrage des poutres de rive; le balancier était commandé par une vis, mise en mouvement par un cabestan, et douze hommes suffisaient à opérer la manœuvre.

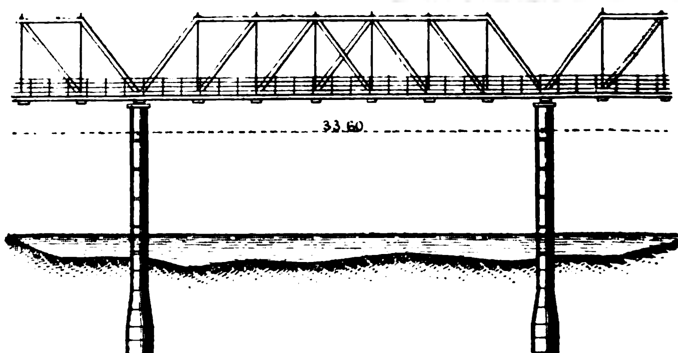
Ce remarquable travail a été exécuté, sans accident sérieux et sans interrompre un passage de trains très actif sur l'ancien pont, sous la direction de M. L.-L. Buck, ingénieur en chef,

de M. R.-S. Buck, ingénieur surveillant la construction, par la « Pensylvania Steel C° ».

The Engineering Record (1er mai 1897) : *Le Pont de la 4e Rue à Newark*. — On vient de passer un marché pour la construction d'un pont en acier sur la rivière Passaïk à Newark. Cet ouvrage fort important comporte, outre les viaducs d'accès, une travée fixe de 51m,82 de portée et une travée mobile sur pile centrale de 68m,68 de longueur totale. La largeur du pont est de 17m,68, y compris deux trottoirs en encorbellement de 2m,45. L'ouvrage est calculé pour supporter, outre le poids mort, une charge uniformément répartie de 610 kilogrammes par mètre carré, avec un coefficient de sécurité du quart.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. II) : P. Allan. — *Pont en bois de Wagga Wagga (Australie)*. — Ce pont franchit la rivière de Murrumbidgee ; il remplace un ancien pont en bois qui, après trente-trois ans de service, n'offrait plus les garanties nécessaires. Il comporte trois travées de 33m,60 de longueur et un viaduc d'accès comprenant neuf travées de 10m,67. Les piles en rivière sont formées de deux cylindres en fonte entretoisés au-dessus de l'eau. La largeur entre les poutres principales est de 7m,42 ; un trottoir de 1m,37 est placé en encorbellement.

PONT EN BOIS SUR LA RIVIÈRE MURRUMBIDGEE



Le prix de revient de l'ouvrage est de 358.142 fr. 46 ; et le prix d'une travée de 33m,60, mise en place, est de 32.787 fr. 69.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t II): J. Triffit. — *Pont tournant à Selby North-Eastern Railway.* — Cet ouvrage est établi sur la rivière Ouse; il comporte une travée tournante de 39m,62, démasquant une passe libre de 18m,28, et une travée fixe de 33m,52. La semelle inférieure est à 3m,88 au-dessus des hautes mers ordinaires de vive eau. Le pont est mû à l'eau comprimée et effectue sa rotation sur une plaque tournante supportée par neuf cylindres en fonte, foncés jusqu'au rocher à 23m,77 au-dessous du niveau des rails.

Pour éviter l'action de la gelée, on ajoute à l'eau comprimée de la glycérine, dans une proportion qui va en hiver jusqu'à 2/5; les pertes et les fuites consomment environ 2lit,27 à 4lit,54 du mélange par semaine.

Le coût total de l'ouvrage a été de 563.494 fr. 23.

IV. — Navigation intérieure.

Engineering (23 juillet 1897) : C.-H Moberly. — *Le Volga.* — L'auteur commence une monographie du Volga, faite d'après diverses publications du Ministère des Voies de communication russe. La longueur sur laquelle le fleuve est navigable, de Tver à la Caspienne, est de 3.186km,443, et le trafic y dépasse 8 millions et demi de tonnes.

Engineering News (1er juillet 1899) : W. Starling. — *La crue du Mississipi en* 1897. — L'auteur étudie les causes de cette crue exceptionnelle, pendant laquelle le débit du Mississipi a atteint 44.455 mètres cubes par seconde à Cairo, les travaux qui ont été effectués pour fermer les brèches qui se sont produites dans les digues de protection, et ceux qu'il serait nécessaire d'exécuter pour prévenir le retour des désastres causés par de pareilles crues.

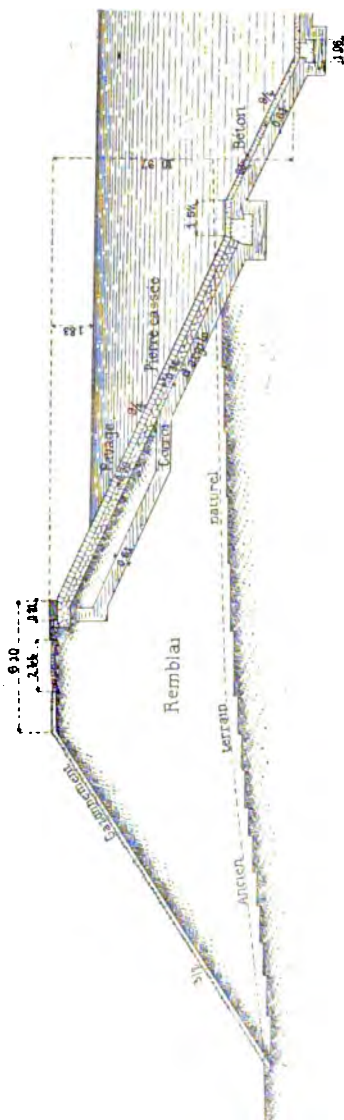
Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. II): J. Pennycuick — *Dérivation du Periyar* (Indes). — Le district de Madura, souffrant du manque d'eau, on a décidé d'exécuter, pour lui en fournir, la dérivation de la rivière Periyar. Les travaux comprennent l'exécution d'un barrage de 54m,862 de hauteur, d'un tunnel pour l'amenée des eaux dans la vallée de la Vaigai, enfin d'un réseau distributeur susceptible d'irriguer le district de Madura à raison de 849 millions de mètres

cubes par an. La partie capitale du travail est l'exécution du barrage : celui-ci, dont la largeur à la base atteint $39^{m},622$, a été construit en béton avec parements en maçonnerie ; la maçonnerie représente environ 30 0/0 du cube total qui est de 169.890 mètres cubes. Le mortier employé a été fait avec de la chaux du pays d'excellente qualité, des blocs de mortier, après six mois de prise, pouvant supporter sans se rompre $84^{kg},37$ par centimètre carré.

Le coût total des travaux a été de 12.610.650 francs, dont 4.438.948 fr. 80 environ sont applicables à la construction du barrage.

On estime que le revenu provenant de la vente des eaux d'irrigation s'élèvera à 1.072.661 fr. 88, ce qui, déduction faite des frais d'entretien évalués à 185.366 fr. 55 et de la redevance de

59.240 fr. 05 payée à l'État de Travancore, pour pouvoir effectuer la dérivation, laisse une recette nette de 827.915 fr. 27 correspondant à un revenu net de 6 1/2 0/0 environ.



En tenant compte de la mise en valeur de certaines terres aujourd'hui incultes, on espère que le revenu net pourra être porté à 7 1/2 0/0.

Enfin, sur les 1.600 mètres qui suivent la sortie du tunnel, l'eau descend de plus de 360 mètres de hauteur; cette chute permettra de créer une force motrice importante, qui, grâce à l'électricité, pourra dans peu d'années être utilisée dans les cités de Madura, de Trichinopoly et dans quelques autres villes.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. II) : W.-H. THOMAS. — *Construction d'une écluse à sas et d'un barrage sur la rivière Darenth à Dartford.* — Le sas a 45^{m},718 de longueur; la largeur des écluses est de 7^{m},619; et le tirant d'eau, 2^{m},895; le barrage a 27^{m},431 de longueur en crête. Le coût total des travaux a été de 101.288 fr. 74.

Engineering Record (19 juin 1897) : *Réservoir n° 2 de Pittsburg.* — On commence, à Pittsburg, la construction d'un nouveau réservoir (*fig.* ci-contre) de 567.937^{m3},500 de capa-

cité. La hauteur de la retenue n'est que de 9m,15, et l'eau est maintenue par un remblai perréyé. Un corroi de 0m,60 d'épaisseur est placé au-dessus du remblai, il est composé de 7 parties de gravier, de 3 de sable et de 4 d'argile ; ce corroi doit être mis en place par couches successives de 0m,10 d'épaisseur, soigneusement pilonnées.

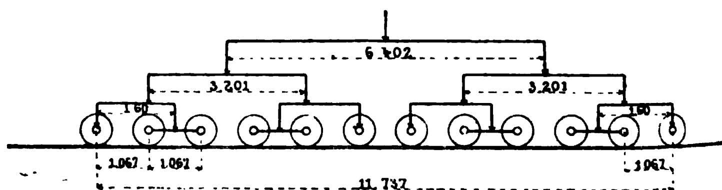
V. — Travaux maritimes.

Engineering (14 mai 1897) : *Titan de 40T,640 pour le port de la Vera-Cruz.* — L'engin destiné aux travaux de la Vera-Cruz permet de placer des blocs de 40T,640 dans un rayon de 18m,29, ou des blocs de 30T,480 dans un rayon de 22m,86 ; il est supporté par 16 roues et se déplace sur une voie ferrée de 6 mètres de largeur entre rails. La machine motrice a une puissance de 16 chevaux.

L'engin peut être utilisé pour le tassement des enrochements et actionne à cet effet un pilon qui pèse environ 17 tonnes.

—— (2 juillet 1897) : *Elévateurs à grain pour le Danube.* — Description de deux élévateurs à grain construits pour le Danube par MM. Stott et Cie, et susceptibles de décharger : l'un, 60 tonnes à l'heure ; l'autre, 100 tonnes à l'heure.

—— (2 juillet 1897) : *Grue mobile de 25 tonnes de South-Shields.* — On vient d'établir sur une estacade en charpente à South-Shields, une grue à vapeur, mobile sur rails, de 25 tonnes de puissance.



La vitesse d'élévation est de 18m,30 par minute, et la rotation complète s'effectue en trente secondes. Le poids total de l'engin en ordre de marche est de 150 tonnes ; il se déplace par lui-même sur une voie ferrée de 6m,40 de largeur et composée de deux files doubles de rails.

Les deux rails constituant une file sont écartés de 5 centimètres et quart ; cet écartement correspond au boudin central des roues.

Les roues sont au nombre de 24, 12 de chaque côté, et ont 0m,76 de diamètre ; le diagramme ci-joint indique la disposition adoptée pour assurer l'égal partage du poids entre toutes les roues, au moyen d'un système de balanciers.

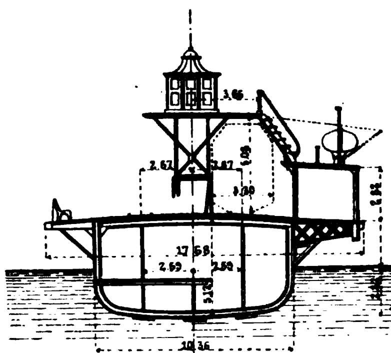
Engineering (16 juillet) : J.-C. Tuxen. — *Bacs, porte-trains, bateaux, brise-glaces danois.* — L'auteur donne les principales dimensions et dispositions des bacs porte-trains, ainsi que des bateaux brise-glaces danois.

Le dernier de ces bateaux, le *Sleipner*, construit en 1896, a 49m,20 entre perpendiculaires, 11m,88 de largeur au maître-bau, 1.450 tonnes de déplacement ; la force de la machine est de 2.600 chevaux, et la vitesse en route libre de 12 nœuds trois quarts. Les water-ballast de l'avant destinés à produire l'écrasement de la glace sont au nombre de deux, pouvant recevoir respectivement 52 et 70 tonnes d'eau.

Son prix de revient a été de 839.869 fr. 30.

On construit également maintenant des navires qui sont susceptibles de servir à la fois de bacs-porte-trains et de brise-glaces, ce qui paraît devoir être beaucoup plus avantageux.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. II) : J.-A. Prior. — *Bacs porte-trains en usage au Danemark.* — Il est fait au Danemark grand usage des bacs porte-trains pour franchir des bras de mer qui atteignent jusqu'à 16 milles marins.



Les plus petits de ces bacs, du type Thyra, peuvent porter 6 wagons de 10 tonnes; les plus grands, du type Kjöbenhavn, construit en 1895, peuvent prendre 18 wagons de marchandises chargés également de 10 tonnes.

Les éléments principaux de ces deux types de bateau sont les suivants :

	TYRA	KJOBENHAVN
Longueur totale....................	$53^m,95$	$83^m,51$
Largeur de la coque................	$7^m,92$	$10^m,36$
Largeur de la superstructure.........	$13^m,37$	$17^m,68$
Creux..............................	$3^m,88$	$5^m,12$
Tirant d'eau........................	$2^m,39$	$2^m,82$
Déplacement à pleine charge.......	$589^T,280^k$	$1.473^T,200^k$
Force de la machine...............	652 ch.	2.155 ch.
Vitesse moyenne...................	$9^n,5$	$12^n,5$

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Engineering (mai-juin 1897) : *Lanarkshire and Dumbarton-Shire Railway.* — Suite et fin des articles consacrés à la description de ce chemin de fer; les articles publiés ont trait à l'exécution des tunnels, des ponts et des viaducs de la ligne ainsi qu'au profil des rails.

—— (11 et 25 juin 1897) : *Chemin de fer monorail Behr.* — Deux articles accompagnés de planches sont consacrés à la description du chemin de fer monorail, de Behr, qui est employé à l'Exposition de Bruxelles.

—— (23 juillet 1897) : *Locomotives pour le chemin de fer militaire du Soudan.* — Ces machines sont destinées au chemin de fer exécuté pour l'expédition du Soudan égyptien, dont la voie a $1^m,06$ de largeur, comme le chemin de fer du Cap. Elles pèsent $46_T,5$ en ordre de marche, et le tender a un poids de 34 tonnes; elles sont susceptibles de remorquer 206 tonnes, sur une rampe de 25 millimètres, à une vitesse de $10^{km},460$ à l'heure; en palier, la vitesse est de $48^{km},280$. La description de ces machines est accompagnée d'une planche de dessins.

Engineering News (24 juin 1897) : *Locomotive à air comprimé du système Hardie pour le Manhattan Elevated Railway.* — L'aspect général de la nouvelle locomotive est analogue à celui des locomotives à vapeur : les tubes qui renferment l'air comprimé à la pression de $168^{kg},6$ par centimètre carré, occupent la place de la chaudière; ils sont au nombre de 27, et ont $0^m,2285$ de diamètre et $4^m,724$ de longueur.

Le chargement s'effectue en une minute, en prenant l'air dans un réservoir de 23 mètres cubes, où celui-ci est comprimé à la pression de 179^{kg},2 par centimètre carré.

Les roues motrices ont 1^{m},0067 de diamètre. La pression de l'air dans les cylindres est de 1^{kg},054 par centimètre carré.

L'engin peut remorquer 130 tonnes à la vitesse maxima de 72^{km},419 à l'heure.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. II) : J. Ramsay. — *Chemin de fer Mushkaf-Bolan au Bélouchistan.* — Cette ligne est établie dans les gorges qui conduisent de l'Afghanistan au Sud, et a environ 177 kilomètres de long. Elle part d'un point voisin de Sibi à la cote 158^{m},49, et passe par un point haut voisin de Kolpur à la cote 1.790^{m},34. On a admis des pentes qui atteignent jusqu'à 40 millimètres par mètre.

Les principales difficultés de la ligne ont consisté dans l'exécution de très nombreux tunnels nécessités par les accidents du terrain : ces tunnels, au nombre de 20, ont une longueur cumulée de 3.566 mètres ; le plus long, le tunnel de Pamir, a 106^{m},07 de long. Le prix de revient a varié entre 1.455 fr. 80 et 3.332 fr. 35 par mètre linéaire ; il a été en moyenne de 2 439 fr. 69.

Le mémoire de M. Ramsay, qui est relatif à l'ensemble de la ligne, est complété par des mémoires particuliers de MM. W.-A. Johns, C.-J. Cole, qui donnent des renseignements plus détaillés sur les ouvrages d'art de deux des sections de la ligne.

Street Railway Journal (juin 1897) : N.-H. Heft. — *Traction électrique sur les lignes de la New-York, New-Haven et Hartford C^{o}.* — Cette Compagnie dessert un territoire extrêmement peuplé et transporte par an 50 millions de voyageurs, qui donnent lieu à la moitié des recettes totales.

On a commencé, en 1895, à faire des expériences pour la substitution de la traction électrique à la traction par locomotives. A cet effet, la traction électrique a été expérimentée sur une section de 11^{km},263, équipée avec une transmission par trolley, et sur une section de 5^{km},631, équipée avec une transmission par un troisième rail central.

Des graphiques très complets, donnant la vitesse réalisée, la puissance du courant et la consommation d'électricité résument ces essais.

D'après le résultat obtenu, il y a lieu de donner la préférence à l'utilisation d'un rail pour la transmission de l'électricité sur le système à trolley.

A la suite de ces essais, la Compagnie a mis en service la traction électrique sur la ligne de Hartford à Berlin *viâ* New-Britain, qui a $19^{km},790$ de longueur.

Une description complète de l'usine productrice de la force motrice, installée à New-Britain et du matériel roulant est donnée par l'auteur.

Street Railway Journal (juin 1897) : *Prix de revient de la force motrice utilisée par les tramways électriques dans les États de New-York et de Massachussets.* — Le prix de revient de la force motrice est donné pour 70 Compagnies différentes par voiture kilométrique et par voyageur transporté.

Le tableau suivant résume les principaux résultats de cette statistique.

COMPAGNIES AYANT UN TRAFIC :	NOMBRE DE COMPAGNIES OU LE PRIX DE REVIENT EST PAR VOITURE KILOMÉTRIQUE					
	Inférieur à 3 c.	de 3 à 6 c.	de 6 à 9 c.	de 9 à 12 c.	de 12 à 15 c.	de plus de 15 c.
Inférieur à 400.000 voitures kilométriques.	»	4	6	5	1	3
Compris entre 400.000 et 800.000 voitures kilométriques	»	9	5	3	4	»
Compris entre 800.000 et 1.600.000 voitures kilométriques	»	5	4	3	»	»
Compris entre 1.600.000 et 8.000.000 voitures kilométriques	»	10	4	1	»	»
Supérieur à 8.000.000 de voitures kilométriques	1	3	1	»	»	»

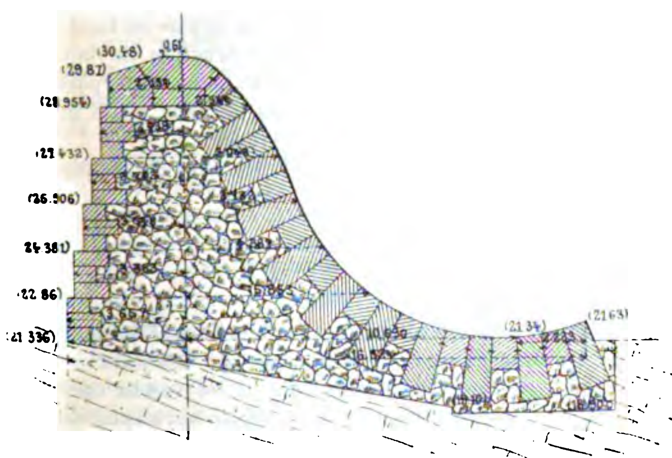
Le prix de revient le plus faible est accusé par la Compagnie de Buffalo Railway, qui a 255 voitures en service, et dont le trafic a été de 10.066.362 voitures kilométriques avec un prix de revient de $2^{c},43$ par voiture kilométrique.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Engineering (18 juin 1897) : *Labourage électrique.* — Le labourage électrique, qui a été l'objet d'un certain nombre d'expériences pendant les dix dernières années, paraît être entré dans le domaine de la pratique, grâce aux machines construites par M. Borsig de Berlin. Il est utilisé déjà en Allemagne dans un assez grand nombre de localités, surtout pour la culture des betteraves à sucre.

Engineering News (29 avril 1897) : *Nombre et exploitation des distributions d'eau aux États-Unis et au Canada.* — Renseignements statistiques très complets sur le nombre des installations de distribution d'eau aux États-Unis et au Canada, et sur le mode de construction et d'exploitation adopté ; sociétés particulières ou services publics.

—— (13 mai 1897) : *Nouveau barrage en maçonnerie de New-Holyoke.* — On a utilisé de New-Holyoke une puissance hydraulique de 30.000 chevaux environ de force, au moyen d'un barrage effec-



tué dans la rivière de Connecticut et permettant de disposer d'une chute totale de 18m,30 entre la crête du barrage et l'extrémité des canaux où la force motrice est consommée ; ce

barrage est constitué par une ancienne digue ou crib-work, exécutée en 1849 et consolidée en 1870. Cette digue présentant des fissures qui entraînaient une perte de $3^{m3},325$ par seconde, c'est-à-dire de 800 chevaux, on a pris le parti de reconstruire en arrière un nouveau mur en maçonnerie.

Le nouveau barrage est établi à une distance moyenne de $36^m,574$ de celui qui est en service ; sa longueur est de $310^m,88$.

Il présente en coupe, du côté de l'aval, une forme curviligne : la partie supérieure de la courbe est la parabole que décrit l'eau tombant d'une hauteur de $1^m,21$ au-dessus de la crête du barrage ; la partie inférieure est une cycloïde. Le barrage est en maçonnerie de moellons et parementé en granit.

The Engineering Record (22 mai 1897) : *Nouveau tunnel de prise d'eau pour la ville de Cleveland.* — La ville de Cleveland est située sur le bord du lac Erié : on a décidé d'aller chercher les eaux d'alimentation de la ville à une distance de la rive de $7.924^m,35$, c'est-à-dire $4.571^m,85$ plus loin que le point où elles sont actuellement captées.

Le tunnel projeté a $2^m,75$ de diamètre et est établi à $31^m,57$ au-dessous du plan d'eau et à $21^m,96$ au-dessus du fond du lac. On doit le terminer pour 1898, la construction se faisant au moyen de six attaques : une partant de terre, une partant du puisard terminus et les quatre autres de deux puits intermédiaires exécutés sur le tracé de l'ouvrage.

L'article donne des détails sur les procédés d'exécution et le prix de revient de ces différentes parties.

VIII. — Machines.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. II) : W. Ripper. — *Expériences sur les machines à vapeur surchauffée.* — Les expériences dont il est rendu un compte détaillé ont été exécutées avec un moteur horizontal Schmidt, à un seul cylindre, sans condenseur et de 17 chevaux de force.

L'auteur conclut que l'emploi de la vapeur surchauffée permet de réaliser de notables économies ; que, pour obtenir le maximum d'avantages dus au surchauffage de la vapeur, celle-ci doit être portée à l'admission à une température d'environ

650° Fahrenheit ; qu'à cette température le poids de vapeur consommée pour produire une force donnée est moitié moindre que s'il n'y avait pas surchauffage de la vapeur ; enfin que la quantité de chaleur perdue par les cylindres décroît à mesure que la température de la vapeur augmente.

H. D.

IX. — Électricité appliquée.

The Électrical World (5 juin 1897) : J.-W. Howell. — *Lampes à incandescence à haut et bas voltage.* — Courte étude sur les avantages qu'il y aurait à employer des lampes à incandescence à 200 ou 220 wolts.

Les essais faits jusqu'ici n'ont pas donné de très bons résultats au point de vue de la consommation en watts par bougie, aussi faudrait-il trouver, pour constituer ces lampes, un filament de très haute résistance spécifique.

—— (5 juin 1897) : E.-A. Hitchcock. — *Expériences sur des roues hydrauliques destinées à actionner des dynamos.* — La roue étudiée a été construite par MM. James Leffel et Cie, de Springfield (Ohio). Elle a 65 centimètres de diamètre et porte 28 aubes réparties alternativement de chaque côté d'une cloison servant à partager le jet. L'eau nécessaire pour le fonctionnement était fournie par une pompe Duplex. L'auteur donne quelques résultats expérimentaux, ainsi que la mesure du rendement qui a été de 92,36 0/0.

—— (5 juin 1897) : L.-B. Marks. — *Progrès dans les lampes à arc en vase clos.* — L'auteur donne sous forme de courbes la statistique du développement de l'éclairage à arc à l'air libre et en globe clos depuis trois ans dans les secteurs de la Compagnie Edison à New-York, Boston et Brooklyn ; dans ces trois villes les remplacements de lampes à arc ordinaires par les lampes à globe clos prennent une importance croissante, principalement à Boston, où le nombre de lampes du nouveau système est dès maintenant de beaucoup supérieur à celui des lampes à arc à air libre.

—— (5 juin 1897) : C.-H. Wilmerding. — *Charge de jour économique dans les grandes stations centrales.* — L'auteur propose de fixer le prix d'abonnement de chaque client en fonction du rapport de l'énergie maxima qu'il peut prendre à celle qu'il consomme réellement pendant un temps donné, un mois par exemple ; l'avantage de ce genre de tarification de l'énergie est mis net-

tement en évidence par une série de courbes appliquées à un cas particulier et représentant le prix du kilowatt-heure en fonction du nombre de kilowatts-heures consommés par mois pour une installation pouvant débiter au maximum un kilowatt.

The Electrical World (12 juin 1897) : *Compte rendu de la vingtième réunion de la « National Electric Light Association ».* — M. Martin présente un mémoire sur le travail de jour dans les stations centrales ; M. Cahom, sur l'établissement d'une base pour le prix de vente de l'énergie électrique ; M. Arthur Wright, sur une méthode rémunératrice pour la production du courant dans les stations centrales.

Rapport de la Commission sur les résultats d'exploitation des stations centrales ; rapport de la Commission de l'établissement des règlements pour les installations électriques.

—— (5, 12 et 19 juin 1897) : W. Mayer. — *Construction des canalisations souterraines pour l'éclairage électrique.* — Description, avec figures, des divers modes américains de construction des canalisations électriques souterraines pour courant continu et courant alternatif, à haute et basse tension, emploi de tuyaux en fer noyés dans le ciment.

—— (26 juin 1897) : *Application de l'électricité aux chemins de fer.* — Courte analyse d'une récente conférence faite par M. Brangs, ingénieur au Delaware, Lackawanna and Western Railroad sur l'emploi de la traction électrique dans les chemins de fer. L'auteur préconise un système mixte consistant à conserver la vapeur pour les machines destinées à remorquer les trains express ou les trains lourds comme ceux de marchandises et à employer la traction électrique pour des trains légers et fréquents, en particulier les trains de banlieue.

—— (3 juillet 1897) : H. Lomas et Herbert. — *Éclairage électrique de Bolton (Angleterre).* — Description de la station municipale d'éclairage électrique de Bolton. La station est proche de l'usine à gaz dont elle utilise le coke comme combustible. Les quatre chaudières, type Lancashire, sont munies de tubes Galloway et d'un foyer spécial type Meldrum, pour la combustion du coke.

Au matériel à vapeur, primitivement composé de trois moteurs Wood, deux de 160 chevaux et un de 80, entraînant des alternateurs Mordey par câble, on a adjoint, lors de l'agrandissement de l'usine, deux moteurs verticaux Hick-Hargreaves, commandant directement chacun un alternateur-volant de Ferranti, d'une puissance de 200 kilowatts, dont le rendement

est de 88 0/0. La station comprend, en outre, deux petits groupes à accouplement direct et à courant continu destinés à charger une batterie d'accumulateurs ; celle-ci, aux heures de faible charge, alimente un moteur-générateur Crompton dont le courant alternatif, joint à celui d'un des alternateurs Ferranti, permet d'assurer le service.

La distribution se fait par transformateurs chez l'abonné, et l'énergie est taxée suivant le système imaginé par M. Wright ; elle revient, prise à la station, au prix de 0 fr. 125 le kilowatt-heure.

The Electrical World (3 juillet 1897) : WOODBRIDGE. — *Pont tournant électrique.* — Courte description d'un pont tournant de 2.000^T,0 reliant les deux villes de Superior et de Duluth sur les deux rives du Saint-Louis. Ce pont, entièrement mû par l'électricité, mesure 150 mètres de longueur sur 17^m,4 de largeur ; son pivot central est supporté par des galets et actionné par un moteur électrique à l'aide d'un train d'engrenage ; l'arrêt rapide du moteur est assuré par l'emploi d'un frein à lame à déclenchement automatique. Chaque volée est commandée par un moteur spécial ; les appareils de manœuvre sont réunis dans une cabine établie dans la superstructure.

— (10 juillet 1897) : *Installation d'éclairage et de force motrice du Life Building à New-York.* — Longue description, avec nombreuses figures, de l'installation isolée du Life Building. Deux chaudières Babcock et Wilcox, alimentées par trois pompes Worthington, trois moteurs genre Corliss sans condensation et un moteur « Idéal » constituent le matériel à vapeur.

Les puissances des unités sont différentes ; les trois plus grandes, de 125, 225 et 250 chevaux respectivement, commandent par courroies des dynamos de 75, 125 et 25 kilowatts à 270 tours par minute. Une dynamo de 250 kilowatts est actionnée directement par le moteur « Idéal ». Les trois premières dynamos, qui ont la première 8 pôles, et les autres 6 pôles, sont compoundées.

Le tableau de distribution est formé de trois panneaux distincts en marbre, affectés le premier aux dynamos, le second à la moitié est des bâtiments, et le troisième à la moitié ouest.

— (10 juillet 1897) : PERKINS. — *Installation à trois fils et à 440 volts de la Compagnie d'Éclairage électrique de Canton.* — Tentative d'essai d'éclairage à courant continu par distribution

à trois fils avec lampes de 220 volts. Les lampes sont du système Edison à double boucle et ont donné un très bon résultat.

L'installation, qui comportait d'abord deux dynamos de 250 volts de la « General Electric C° », commandées par deux roues Pelton, comprendra bientôt, grâce aux bons résultats obtenus, une dynamo de 30 kilowatts à 500 volts couplée directement avec un moteur « Idéal » Harrisburg.

The Electrical World (17 juillet 1897) : *Installation privée d'éclairage du Bowling Green Building.*— Description, avec nombreuses figures, de la station d'éclairage et de transport de force du « Bowling Green Building » à New-York. L'installation comprend 6.000 lampes de 16 bougies, de nombreux ascenseurs et une sous-station d'accumulateurs.

—— (24 juillet 1897) : Phillips et Swain. — *Essais d'éclairage électrique et de transport dans les mines de charbon.* — Compte rendu des essais faits par le professeur Goldsborough et M. J.-H. Mac Clelland dans les mines de charbon de la « Brazil Block Coal Company » ; courte description illustrée du matériel employé.

—— (24 juillet 1897) : E. Thomson. — *Emploi de l'air liquide dans les installations électriques.* — L'utilisation passablement paradoxale de l'air liquide, que préconise le savant professeur, consiste dans le refroidissement énergique des conducteurs. On peut ainsi augmenter la puissance spécifique des machines, tout en réduisant les pertes par effet Joule dans les enroulements par suite de l'abaissement rapide de la résistance du cuivre avec la température ; cette résistance devient négligeable à la température d'ébullition de l'air liquide ; d'autre part, les propriétés isolantes remarquables de l'air liquide permettraient l'augmentation des tensions au-delà des valeurs jusqu'ici employées.

—— (24 juillet 1897) : Anonyme. — *Nouveau système de distribution électrique.* — Ce système, dû à M. P. Heldt, de Chicago, a pour but de supprimer les différences de charge qui existent souvent dans les trois circuits des distributions d'éclairage par courants alternatifs triphasés ; il consiste à partager chacun des trois circuits secondaires des transformateurs en trois parties et à former avec les neuf enroulements ainsi obtenus trois circuits dont les différences de phases sont toujours d'un tiers de période, mais qui comprennent chacun un tiers d'enroulement pris sur chacune des bobines secondaires ; de cette façon les courants

primaires, traversant les trois fils des lignes, sont toujours égaux, quelles que soient les différences de charge sur les trois circuits secondaires.

The Electrical World (31 juillet 1897) : *Quatorzième assemblée générale de l'Association américaine des Ingénieurs électriciens.* — Compte rendu des séances de l'Association américaine des Ingénieurs électriciens à Éliot. Reproduction de quelques-uns des mémoires lus à cette assemblée. — Mesure de l'énergie à partir du point de génération, étude sommaire de la difficulté de la mesure de la puissance par suite de la présence des moteurs d'induction, par M. *Hasking*. — Utilité et économie des appareils électriques servant à cuire les aliments, par M. *Price Sahkson*. — La traction électrique, note sur les applications de l'électricité aux chemins de fer, avec description du métropolitain de Chicago, puissance absorbée par les trains, appareils moteurs et régulateurs, appareils générateurs, feeders, rendement, par M. *Gerry*, etc.

— (31 juillet 1897) : Baxter. — *Voitures automobiles et locomotives électriques.* — Étude de la traction électrique inspirée par la récente application au métropolitain de Chicago.

— (7 août 1897) : Anonyme. — *Système à unités multiples Sprague employé au chemin de fer élevé de Chicago.* — Description sommaire, avec figures peu instructives, de ce système appliqué à toutes les voitures d'un train, commandées par servo-moteurs; quelques données numériques sur les poids des trains et les vitesses obtenues.

— (7 août 1897) : H. Short. — *L'électricité comme source de puissance dans les chemins de fer élevés.* — Étude intéressante du matériel roulant proposé par la Cie Walker pour le chemin de fer élevé de Chicago avec indications sur le poids des trains, sur les vitesses obtenues et sur la puissance électrique consommée.

— (7 août 1897) : Woodbridge. — *Le problème des ascenseurs électriques et quelques-unes de ses solutions.* — Étude, sans figure, des différents systèmes d'élévateurs électriques et de leur régulation ; difficultés à vaincre, réduction du poids des masses en mouvement, régulation de la vitesse, rhéostats à réglage automatique, facilité d'arrêt, système de réglage des ascenseurs Léonard, avantages et désavantages de ce système.

— (14 et 21 août 1897) : Anonyme. — *Le service des cabs électriques à New-York.* — Longue description, avec figures, des cabs automo-

teurs de New-York; description sommaire de l'usine de charge, étude détaillée du mécanisme des voitures; quelques données sur les moteurs Lundell employés; résultats d'essais et rendement. Détails sur les accumulateurs et leurs groupements pour l'obtention des diverses vitesses; schéma des connexions dans une voiture; description succincte d'autres types de voitures automobiles, mail-coach, omnibus, etc.

The Electrical World (14 et 21 août 1897) : C. Bellberg. — *A propos des tramways électriques.* — Compte rendu d'expériences faites par l'auteur dans une installation américaine de traction que l'auteur ne nomme pas, et caractérisée principalement par une chute de tension assez considérable au moment des forts débits. Étude des remèdes à apporter pour améliorer ce service.

—— (21 août 1897) : Anonyme. — *Redresseurs pour l'éclairage par arcs.* — Courtes considérations sur les redresseurs de courants alternatifs Ferranti, employés pour l'éclairage par arc et d'un usage presque inconnu en Amérique; rappel de quelques-uns des résultats présentés au dernier Congrès de l'Association anglaise des Électriciens municipaux à Manchester.

—— (21 et 28 août 1897) : F.-C. Cosby. — *Construction des canalisations électriques à Saint-Louis.* — Description, avec nombreuses photographies, des canalisations électriques souterraines à Saint-Louis; différents types de caniveaux, construits par J.-T. Mac Roy, de Chicago, sont employés, en particulier des caniveaux cylindriques en fer de la «National Conduit and Cable Company» de New-York. L'installation, en cours d'exécution, sous la direction de la « Saint-Louis Electric Construction Company », comprendra environ 420 kilomètres de caniveaux.

—— (28 août 1897) : *Le tramway à trolet souterrain de New-York.* — Courte description, avec nombreuses photographies, de travaux en cours d'exécution pour les tramways à canalisation souterraine de New-York. Le caniveau, placé au milieu de la voie, est constitué par des jougs en fonte présentant un renflement évidé au milieu de la voie avec une ouverture à la partie supérieure, qui porte deux rails formant rainure pour le passage du soc du trolet. Ces pièces, placées de distance en distance, sont réunies par une conduite en ciment. Les rails centraux sont réunis aux rails extérieurs par des tirants latéraux qui empêchent le caniveau de se fermer.

The Electrician (11 juin 1897) : ANONYME. — *Éclairage public à Manchester.* — Premier essai d'éclairage public à arcs à Manchester. Trois quartiers sont éclairés : le premier (square Albert), par 12 lampes Brockie-Pell ; le second (Piccadilly), par 6 lampes Crompton-Pochin ; et le troisième (square Sainte-Anne), par 2 lampes Brockie-Pell. Ces dernières sont en série par deux sur 120 volts ; les autres sont par groupe de six en série sur 300 volts ; la hauteur des foyers au-dessus du sol est de 6^{m},70.

—— (11 juin 1897) : ANONYME. — *Chemins de fer électriques et induction électromagnétique.* — Reproduction de différentes courbes obtenues par M. Ayrton et reproduisant les déviations d'un magnétomètre placé à différentes distances (100, 50 et 25 mètres) de la voie d'un chemin de fer électrique.

—— (11 juin 1897) : John KERSHAW. — *Nouveau procédé pour la fabrication de l'aluminium.* — Description succincte du procédé de M. H.-S. Blackmore, consistant dans la substitution du sulfure d'aluminium à l'alumine dans la préparation de l'aluminium par électrolyse ; cette modification abaisse le voltage nécessaire à la décomposition de 5 volts à 3,1 volts.

Le sulfure d'aluminium est obtenu en dissolvant l'alumine dans un bain de sulfure et de fluorure de sodium et de potassium fondus et traitant ensuite la dissolution par la vapeur de sulfure de carbone. Le sulfure ainsi obtenu revient à environ 0 fr. 35 le kilogramme aux États-Unis.

—— (18 juin 1897) : Francis JEHL. — *La station centrale à courants alternatifs polyphasés de Budapest.* — Description de la station de la Société générale d'Électricité de Budapest, que l'auteur appelle « la ville électrique » par excellence.

La station, une des plus anciennes à courants polyphasés existantes, construite par la maison Schuckert de Nuremberg, est à 3 kilomètres de la ville. Elle comprend neuf chaudières de différents types, d'une surface totale de chauffe de 1.500 mètres carrés, alimentant six moteurs à triple expansion Schickau. Ceux-ci tournent à 110 tours et actionnent directement chacun un alternateur à courants triphasés de 300 kilowatts.

La différence de potentiel aux bornes des circuits de l'induit est de 1.800 volts ; la fréquence, de 25 périodes par seconde ; le nombre de pôles inducteurs, 28. Le courant d'excitation, primitivement fourni par des excitatrices, placées sur les mêmes arbres que les alternateurs, est donné maintenant par une batterie d'accumulateurs chargée par deux dynamos spéciales et qui sert en même temps à l'éclairage de l'usine.

Les courants alternatifs triphasés sont distribués à trois sous-stations où ils sont convertis par des commutatrices en courants continus à 290 volts pour la charge d'une grande batterie d'accumulateurs de 230 volts servant à l'alimentation d'un réseau à trois fils.

Le rapport entre l'énergie utilisée à Budapest et l'énergie débitée par la station centrale est d'environ 67 0/0; les pertes se répartissent ainsi: pertes dans la ligne, 5 0/0; pertes dans la transformation, 20 0/0; et pertes dans les accumulateurs, 8 0/0. L'énergie consommée en 1896 a été de 2.800.000 kilowatts-heures.

The Electrician (10 juin 1897): ANONYME. — *Emploi d'économiseurs dans les stations de traction en Amérique.* — Résultats obtenus dans diverses stations américaines de traction électrique, et particulièrement dans l'installation des tramways de Toronto par M. Barrus, avec les économiseurs Green.

—— (18 juin 1897): ANONYME. — *Capital engagé, recettes et dépenses des stations centrales de Londres et des provinces anglaises.* — Tableau intéressant donnant la situation financière des principales stations centrales de Londres et de l'Angleterre pour l'année 1896-1897.

—— (25 juin 1897): J. HEAD. — *Chargement mécanique des fourneaux à foyer ouvert.* — Description de la machine américaine de Wellmann, conduite par un moteur électrique, pour le chargement des soles des fours employés pour la fabrication de l'acier. Discussion de l'économie réalisée par l'emploi de ce chargeur par rapport au chargement à main.

—— (25 juin 1897): ANONYME. — *Station du Blackpool Winter Garden.* — Courte description de la grande station isolée du Blackpool Winter Garden. L'installation, d'une puissance de 1.100 chevaux, peut alimenter 20.000 lampes; elle comprend trois chaudières Tinkers et une Babcock et Wilcox, alimentant trois moteurs Corliss de 300 chevaux et un autre de 110 chevaux. Les dynamos sont construites par la maison Holmes et Cie de Newcastle; elles sont à quatre pôles et donnent chacune 1.750 ampères sous 110 volts.

—— (25 juin 1897): ANONYME. — *Pompe électrique pour mine.* — Description bien illustrée d'une pompe électrique employée aux mines de Blanzy. La pompe, construite par M. Galland, de Chalon-sur-Saône, est commandée par un moteur synchrone de 65 chevaux, à courants alternatifs triphasés de la Compagnie de l'Industrie Électrique de Genève; ce moteur fait 900 tours

par minute et porte son excitatrice sur le même arbre. La pompe donne cent coups de piston par minute, elle est à deux cylindres.

The Electrician (2 juillet 1897) : Déri. — *Système de traction électrique à courants alternatifs et à courant continu combinés.* — Description d'un système de traction électrique consistant dans l'emploi sur chaque voiture de deux équipements, l'un à courants alternatifs, triphasés par exemple, l'autre à courant continu, et d'une batterie d'accumulateurs.

Le matériel à courants alternatifs est constitué par un ou deux moteurs synchrones, tournant par conséquent à une vitesse fixe; à cette vitesse les moteurs à courant continu fonctionnent comme moteurs-générateurs et servent ainsi au chargement de la batterie d'accumulateurs. Au contraire, lors du démarrage et aux faibles vitesses, les moteurs à courant continu sont alimentés par la batterie. Un régulateur automatique est destiné à maintenir l'intensité du courant alternatif entre certaines limites et à déterminer la charge ou la décharge de la batterie, suivant que l'énergie communiquée par la ligne est en excès ou en défaut par rapport à celle qu'exige la propulsion de la voiture.

—— (2 juillet 1897) : Anonyme. — *Le système de traction électrique à conduite souterraine de M. Lachmann.* — Description succincte, avec figures, du système de conduite souterraine de M. Lachmann de Hambourg ; le conducteur est logé au fond d'un caniveau en U renversé et mis ainsi à l'abri de l'eau par l'air emprisonné. Le contact glissant porté par la voiture est recourbé deux fois à angle droit pour pouvoir pénétrer jusqu'au conducteur.

—— (2 juillet 1897) : Anonyme. — *Sur la transmission de l'énergie.* — Reproduction d'un article de *The Engineer* commentant la discussion des communications faites récemment à la Société des Ingénieurs civils de Londres, sur l'opportunité des transmissions par l'électricité ; différents avantages des transmissions électriques sont rappelés; la conclusion c'est que ce mode de transport est le meilleur dans un grand nombre de cas.

—— (2 juillet 1897) : Anonyme. — *La station centrale de Wynau.* — Courte description de la station hydro-électrique installée à Wynau sur l'Aar (Suisse) par la maison Siemens et Halske. La puissance totale est de 3.000 chevaux et répartie entre quatre turbines à axe vertical de 750 chevaux à 300 tours, actionnant

chacune par une roue d'angle un alternateur à courants triphasés de même puissance.

Les courants à 450 volts sont transformés au départ en courants à 8.000 volts.

La principale ville desservie par cette station est Langenthal; la tension y est ramenée à 500 volts, et une partie du courant à 500 volts est abaissée par une nouvelle série de transformateurs à 120 volts pour être utilisée dans le voisinage de la station réceptrice.

L'éclairage privé, qui a pris une très grande extension, coûte 13 fr. 20 par lampe de 10 bougies et par an.

The Electrician (9 juillet 1897) : *Station centrale municipale de Shoreditch.* — Courte description de la station municipale de Shoreditch, inaugurée récemment par Lord Kelvin. La particularité la plus intéressante est que les générateurs de vapeur sont chauffés par les détritus de la ville, ce qui démontre nettement la possibilité d'obtenir de la vapeur sous haute pression avec ce procédé de chauffage. En outre, la station utilise des accumulateurs de vapeur système Halpin, dans lesquels une grande quantité d'eau chaude est emmagasinée sous haute pression. Le chargement des grilles se fait à l'aide de moteurs électriques.

Le système d'éclairage adopté est celui bien connu d'Oxford, dans lequel on emploie un courant continu à haute tension pour la distribution primaire avec accumulateurs. Quant à présent, l'installation comprend trois dynamos de 160 kilowatts à 1.100 volts et trois de 70 kilowatts à 165 volts, toutes couplées directement à des moteurs Willans.

Les sous-stations à accumulateurs sont au nombre de deux, dont l'une seulement, celle de la Great Eastern-Street est en service. Elle comprend trois moteurs-générateurs de 70 kilowatts à 165 volts.

La station génératrice comprend aussi un moteur-générateur disposé de façon à pouvoir donner du courant à basse ou à haute tension ; sa puissance est de 60 kilowatts.

—— (16 juillet 1897) : *Rapport sur les dangers de la production de l'éclairage électrique.* — Rapport du comité nommé pour étudier les causes de dangers de la production et de l'emploi des courants électriques. Remarques générales donnant la classification des stations centrales au point de vue des dangers courus : courant continu à basse tension, courant continu ou alternatif à

haute tension, courant à très haute tension. Différents modes de production de l'énergie ; dangers pendant l'exploitation ; appendice donnant une liste de quatorze accidents occasionnés par les courantsélec triques pendant ces cinq dernières années. Longue série de recommandations pour l'installation d'usines électriques.

Le courant est dit à haute tension à partir de 700 volts pour le courant continu et à partir de 350 volts pour les courants alternatifs.

The Electrician (16 juillet 1897) : H.-L.-P. Boot. — *Éclairage public.* — Reproduction d'un mémoire lu à l'Association électrique municipale de Manchester. Rappel des différents procédés employés pour l'éclairage public : installations séparées pour l'éclairage par arcs en série, moteurs-générateurs, redresseurs de courant alternatif, emploi des mêmes installations que pour l'éclairage privé.

Discussion du prix d'établissement et de revient dans différentes installations et conclusion en faveur des redresseurs de courant alternatif.

—— (16 juillet 1897) : C.-D. Taite. — *Éclairage public au moyen de redresseurs de courant.* — Mémoire présenté à la même Association que le précédent. Discussion des avantages de l'éclairage par redresseurs de courants alimentant des arcs en série et résultats d'essais. Le rendement d'un appareil de 30 kilowatts atteint 87,4 0/0 à démi-charge et 93 à pleine charge.

—— (16 juillet 1897) : S.-F. Fedden. — *Éclairage public par l'électricité.* — Troisième mémoire lu à l'Association électrique municipale de Manchester; étude de l'éclairage électrique d'Edimbourg. L'auteur trouve que les essais faits à Edimbourg, avec les redresseurs de courant, ont été très mauvais, car, lorsque l'un s'arrête, les autres tendent à en faire autant, d'où nécessité d'éteindre les lampes ou de les laisser fonctionner avec le courant alternatif, ce qui pourrait les endommager. L'auteur propose un moyen de tourner la difficulté en employant un moteur à courant continu, générateur de courants alternatifs, avec un redresseur sur chaque circuit.

—— (28 juillet 1897) : *Câble sous-marin à circulation d'air.* — Un premier essai de câble à circulation d'air vient d'être tenté par la « Telegraph Construction and Maintenance Company ».

Le câble est formé de 4 conducteurs enroulés suivant des hélices d'un pas égal à 20 centimètres. Pour diminuer la capa-

cité électrostatique, un espace d'air est ménagé entre les câbles deux à deux et se présente dans une section droite du câble en forme de croix de Malte.

L'expérience a été faite entre Beaulieu (Hampshire) et Gurnard-Bay dans l'île de Wight ; la distance est de 3.110 mètres; la capacité est de 0,059 microfarad par kilomètre entre les fils situés aux extrémités d'un même diamètre de la section droite.

Les inventeurs de ce système de câble sont MM. W. Smith et P. Granville.

The Electrician (30 juillet 1897) : L. Schröder. — *Tramways électriques avec accumulateurs stationnaires.* — Analyse d'un mémoire présenté à l'*Elektrotechnischer Verein* de Berlin; rôle d'une batterie d'accumulateurs en dérivation, application à la ligne de tramways de Meckenbeuren-Tettnang, de Zürich-Hirslanden et de Remscheid. La batterie contient 270 éléments sans aucun réducteur. Les courbes données par l'auteur et représentant le débit sur la ligne et celui des dynamos montrent l'effet réellement satisfaisant obtenu par ce dispositif pour l'égalisation des machines génératrices et, par suite, pour la constance du potentiel aux bornes, ce qui permet, en outre, l'emploi des mêmes machines pour l'éclairage et la traction.

—— (13 août 1897) : *Le nouveau règlement de l'Association des Ingénieurs électriciens anglais sur les installations électriques.* — Énoncé des nouvelles règles à suivre dans les installations électriques; elles se rapportent aux conducteurs (conductibilité, isolation, dispositions générales, précautions diverses pour le passage des murs, etc.), montage (commutateur, plomb fusible, tableau), appareils de génération et d'utilisation (dynamos moteurs, accumulateurs, transformateurs, lampes à arc), essais, etc.

—— (13 août 1897) : J.-R. Blaikie. — *Systèmes de distribution J.-A. Jeckell.* — Reproduction des conférences faites par les auteurs à la dernière assemblée de l'Association électrique municipale de Manchester et de la discussion qui a suivi. Le premier mémoire se rapporte à une étude plutôt économique de la question au point de vue général; le second est beaucoup plus technique.

—— (20 août 1897) : *Cabs électriques.* — Londres, comme New-York, a son service de cabs électriques. La batterie d'accumulateurs a une capacité de 170 ampères-heure avec un courant de décharge de 30 ampères ; 24 ampères suffisent en général en

pleine vitesse, et 30 à 35 pour les fortes montées. L'entraînement se fait par un seul moteur, mais ayant deux enroulements inducteurs et deux induits bobinés sur le même anneau et aboutissant chacun à un collecteur spécial; c'est, comme pour les cabs de New-York, un moteur Lundell. Le régulateur de vitesse a été étudié par M. Bersey.

La commande se fait par pignon et chaîne; chaque batterie peut fournir une course de 46 kilomètres environ.

The Electrician (20 août 1897): LUTOSLAWSKI. — *Systèmes d'éclairage électrique en Russie.* — L'auteur remarque que les constructeurs locaux sont peu nombreux et laissent, par conséquent, le champ libre aux représentants étrangers; il étudie les meilleures conditions d'installation en Russie et déclare avoir été satisfait de l'emploi de courants alternatifs triphasés avec fil neutre ajouté seulement sur le lieu d'utilisation. Pour l'emploi de lampes à incandescence en série, M. Lutoslawski dit que la Compagnie Hélios, dans l'éclairage du Canal de la Baltique, emploie un petit transformateur pour chaque lampe, comme l'a proposé récemment M. Rothert.

— (3 septembre 1897) : ANONYME. — *Les grues électriques du steamer « Brême ».* — Le vapeur *Brême*, un des plus récents paquebots de la ligne du Nord de l'Allemagne, comprend dans son outillage mécanique un ensemble de 16 grues électriques, huit à bâbord, huit à tribord, pour le chargement et le déchargement des bagages. Quatre des grues ont une puissance de 3.000 kilog., et les 12 autres de 1.500 kilog. Le matériel électrique est le même pour toutes les grues; seules les vitesses sont différentes suivant la capacité de la grue; la rotation est produite par un moteur de 7 chevaux, à 700 tours par minute, et l'élévation de la charge par un moteur de 25 chevaux, à 400 tours; la vitesse de levage ainsi obtenu est de $18^{m},3$ par minute pour les grues de 3.000 kilog., et $36^{m},6$ pour celle de 1.500 kilog.

Le matériel générateur est installé dans la partie arrière de la salle des machines; il comprend 4 dynamos de 75 kilowatts sous 105 volts à 210 tours, couplées directement à des moteurs à triple expansion Schichau. Deux des dynamos alimentent les moteurs des grues, la troisième est utilisée pour l'éclairage, et la quatrième sert de réserve.

— (10 septembre 1897) : C. CUNNINGHAM. — *Système de traction électrique de Montréal.* — Reproduction du mémoire présenté par

l'auteur, au dernier Congrès de l'Association Britannique, sur le fonctionnement de cette installation, exécutée en 1892. Elle comprend maintenant six moteurs Corliss, de 800 chevaux chacun ; trois de ceux-ci actionnent chacun quatre dynamos bipolaires Edison de 200 kilowatts ; les trois autres conduisent chacun deux dynamos de 300 kilowatts de la « Canadian General Electric Company ». Le matériel roulant transporte environ 30 millions de voyageurs par an, avec une consommation de 1kg,97 de charbon par voiture-kilomètre.

A. B.

X. — ARCHITECTURE.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. II) : E.-C. SHANKLAND. — *Edifices en acier à Chicago.* — L'auteur décrit les récentes constructions édifiées à Chicago avec ossature entièrement en acier. Il estime que, pour un édifice de seize à vingt étages, le poids du bâti métallique peut être évalué de 26 kilogrammes à 34kg,5 par mètre cube de la construction. Le prix correspondant est de 8 fr. 82 à 10 fr. 59 par mètre cube de l'édifice, et représente de 1/7 à 1/9 du prix de revient total de la construction ; quant au délai d'exécution, il est compris entre sept mois et un an.

H. D.

PÉRIODIQUES ESPAGNOLS.

II. — MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION.

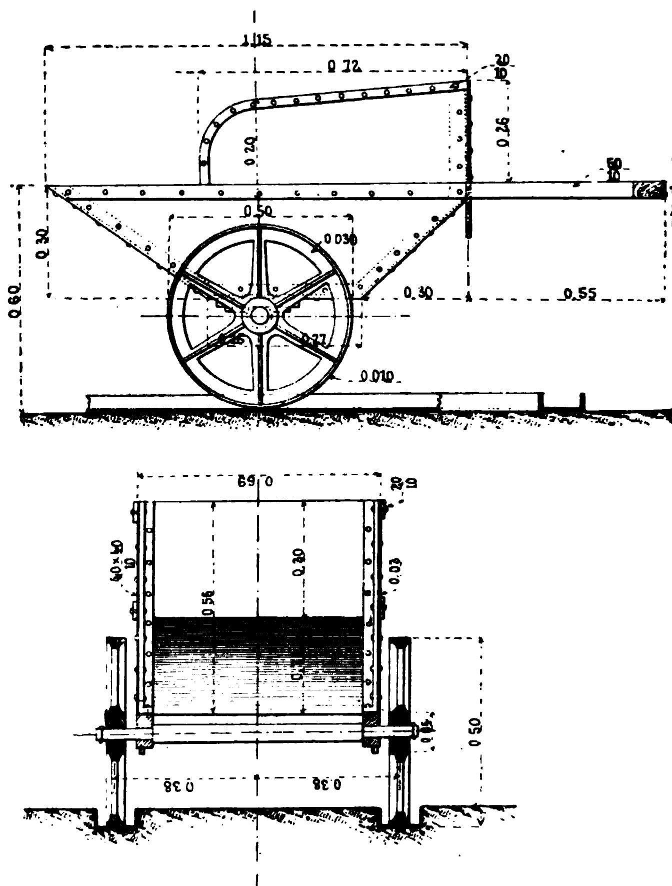
Revista de obras publicas (1er, 8 et 15 juillet 1897) : N. PUIG DE LA BELLACASA. — *Travaux de consolidation de la ligne de Huesca à la frontière de France par Canfranc.* — La section maintenant achevée, comprise entre Huesca et Jaca, sur 111 kilomètres, a été construite de 1888 à 1893, pendant des années sèches. D'importants travaux de consolidation ont dû être exécutés en cours d'exploitation durant les années 1894 et

1895, dont les hivers très pluvieux ont amené de graves désordres dans les terrassements.

L'auteur décrit en détail les plus notables de ces ouvrages qui se rattachent à deux systèmes principaux : 1° celui des cunettes de contour, bordant les parties suspectes et les préservant de l'action des eaux superficielles ou souterraines, de manière à assurer la stabilité des terres exposées à glisser sur des couches imperméables ; 2° celui des drains contreforts transversaux fondés sur le terrain résistant par gradins étagés, de manière à servir de drains pour l'écoulement des eaux en même temps qu'ils s'opposent mécaniquement au glissement en fractionnant la zone par prismes indépendants. — Ces deux systèmes ont été parfois associés. — La liaison des drains contreforts par un mur a produit, en maintes occasions, d'excellents effets pour la défense du pied des terre-pleins. Il faut autant que possible établir les canaux d'écoulement de manière qu'ils puissent être visités. Cette précaution est indispensable quand l'impureté des eaux peut faire craindre l'obstruction des drains. En matière de glissement, on ne doit pas se laisser surprendre par le fait accompli ; ces glissements sont toujours annoncés par des mouvements plus ou moins importants, qui, aussitôt remarqués, doivent être surveillés avec vigilance, et l'on se rendra compte par avance du remède à employer en temps opportun. Sans quoi. pressé par la nécessité de rétablir la circulation, il faudra recourir à des moyens très coûteux. En règle générale, il faut, pour éviter l'emploi subséquent de ces remèdes dispendieux, établir, dès la construction de la ligne, tous les ouvrages de consolidation préventifs, dont une étude attentive du terrain peut suggérer l'exécution.

Revista de obras publicas (22 juillet 1897) : M. DE ZAFRA. — *Brouettes de grande capacité.* — La brouette dont le dessin est donné ci-contre a été employée au port de Séville pour un embarquement considérable de minerais de fer, en attendant l'installation d'élévateurs électriques. C'est une brouette métallique à deux roues, disposée de telle sorte que le centre de gravité de la charge passe par l'essieu. Les roues sont espacées de $0^m,76$; elles roulent sur des fers en **U** formant rails. La capacité de la brouette est de un quart de mètre cube ; le poids de minerai transporté est d'une demi-tonne. La brouette elle-même pèse 139 kilogrammes et coûte 111,20 pesetas, à raison de 0,80 peseta le kilogramme. Le poids total de 640 kilo-

grammes (brouette et minerai) est plus facile et beaucoup moins



fatigant à charrier qu'un poids de 150 kilogrammes avec une brouette ordinaire.

II. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Revista de obras publicas (18 mars 1897) : *Le pont suspendu de Santa-Isabel.* — Ce pont, construit vers le milieu du siècle, sur

le Gallego, pour la route de 1re classe de Madrid à la frontière de France par Saragosse et La Junquera, est situé auprès de Saragosse, en un point où la circulation est très considérable. Une visite, faite en 1886, a fait reconnaître qu'il était dans un état alarmant et a motivé la proposition de lui substituer un pont métallique fixe.

Mais une étude attentive a conduit à renoncer au pont fixe, dont le prix était trop élevé, et à transformer le pont existant en un pont suspendu du système Arnodin, semblable aux ponts de Lamotte sur l'Allier, Verdun sur Garonne, et autres pareils construits en France. Les travaux ont été exécutés en 1889 et 1890.

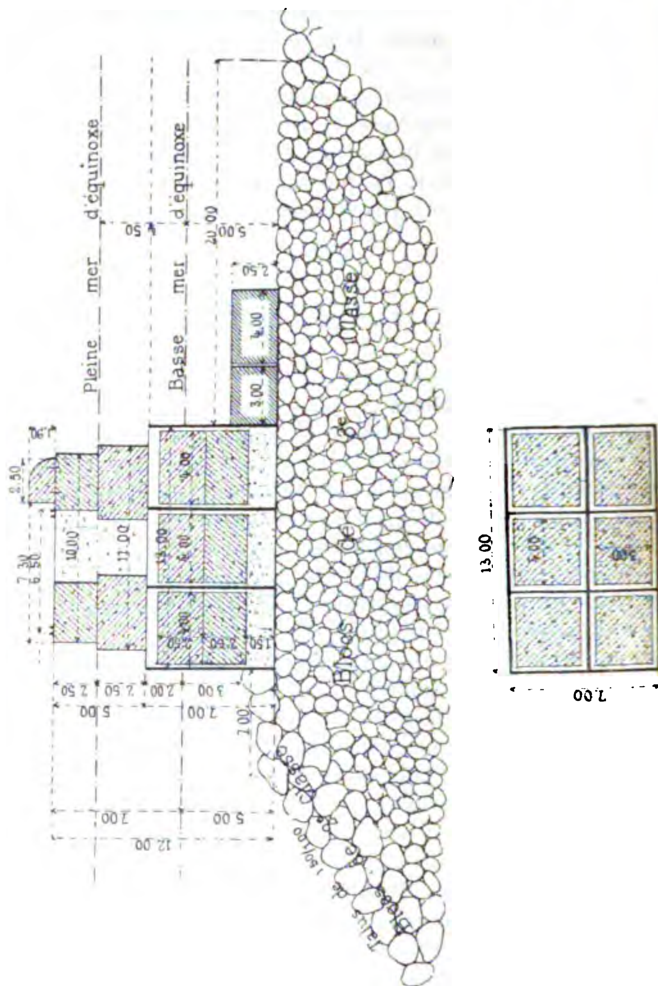
V. — Travaux maritimes.

Revista de obras publicas (8 avril 1897) : *Emploi de caissons métalliques dans la construction des digues à la mer.* — Le premier exemple de l'emploi des caissons métalliques dans la construction des digues à la mer paraît se rapporter à la réparation du port de Madras, où les extrémités des nouvelles têtes des deux digues furent constituées par des tours monolithes, à enveloppes métalliques de 12m,81 de diamètre à la base et de 16m,17 de hauteur, reposant sur un massif de blocages, arasé à 11m,90 au-dessous du niveau moyen de la mer.

La construction de ces énormes monolithes, pesant plus de 5.500 tonnes, a été terminée en mars 1893.

Des caissons en fer, de forme rectangulaire, mesurant 13 mètres de longueur, 7 mètres de largeur et 7 mètres de hauteur, sont employés depuis 1895 à la construction des digues du port de Bilbao. Ces caissons, mis à flot, sont revêtus à l'intérieur d'une chemise en béton de ciment, puis amenés en place à la faveur de la marée et échoués sur le massif de blocage à 5 mètres au-dessous des basses mers d'équinoxe. Chacun d'eux est ensuite rempli avec douze blocs en maçonnerie de 30 mètres cubes, mesurant 4 mètres de longueur sur 3 de largeur et 2m,50 de hauteur, qu'on recouvre d'une couche de 0m,50 de béton de ciment. On obtient ainsi une masse compacte de 637 mètres cubes, à laquelle s'ajoute un massif supérieur de 367,50 mètres cubes comprenant le haut de la digue, avec le parapet, soit, en tout, 1.004,50 mètres cubes, dont

la construction se fait ordinairement en quatre jours. Les ouvrages ainsi exécutés ont parfaitement résisté à la tempête du



mois de mars dernier, l'une des plus violentes qu'on ait observées sur les côtes de la mer Cantabrique.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distributions d'eau.

Revista de obras publicas (27 mai 1897) : *Les réservoirs de Hijar.* — Ces réservoirs, au nombre de deux, furent construits en 1880, sur la rivière Martin, à 30 kilomètres de Hijar, dans la province de Téruel, en vue de fournir des eaux pour l'irrigation.

La contenance du premier est de 6 millions de mètres cubes, et celle du second de 11 millions de mètres cubes. — Celui des barrages représenté par le dessin accompagnant le texte mesure 72 mètres de longueur en couronne, 43 mètres de hauteur, 5 mètres d'épaisseur en couronne, $5^m,20$ d'épaisseur à 9 mètres de profondeur, $44^m,80$ d'épaisseur à la base et 785,45 mètres carrés pour la surface du profil maximum. Le profil d'amont, vertical jusqu'à 25 mètres de profondeur, se continue par un arc de cercle ressortant, au niveau de la base, de $6^m,50$ en avant de la verticale. Le parement d'aval, légèrement en talus jusqu'à la profondeur de 9 mètres, est formé ensuite par une série de gradins de 2 mètres de hauteur et de $1^m,50$ de marchepied moyen.

La pression maximum est de 5 kilogrammes par centimètre carré quand le réservoir est plein, et de $5^{kg},86$ quand il est vide.

Les deux barrages de Hijar sont fondés sur le rocher. Ils sont construits sur plan circulaire avec 64 mètres de rayon.

Ils arrosent 16.752 hectares et ont coûté 1.626.000 pesetas.

—— (3 juin 1897) : *Le réservoir de Puentes* (*Murcie*). — Le roi Charles III décida, par un décret du 11 février 1785, la construction des deux réservoirs de Puentes et de Valdeinfierno, aux frais du Trésor royal. Le 30 avril 1802 se produisit la mémorable catastrophe de la rupture du barrage de Puentes, qui, en outre des pertes matérielles, estimées 21 millions de réaux, occasionna la mort de 608 personnes.

La construction du barrage actuel a été autorisée par un décret du 13 juin 1879, puis, à raison de modifications au projet primitif, par un autre décret du 12 janvier 1885.

Ce barrage se compose de trois parties : un corps central circulaire, convexe vers l'amont, et deux ailes rectilignes, raccordées avec le corps central par des solides de révolution, dont les génératrices sont tangentes à celles du corps central et à celles des ailes. Le profil est le même partout. L'épaisseur, qui est de

38 mètres au socle, se réduit à 4 mètres au couronnement. La hauteur, qui atteint 48 mètres dans la partie centrale, se réduit à rien aux extrémités des ailes. Des prises d'eau sont établies à diverses hauteurs.

Le parement d'amont présente une inclinaison uniforme de 1/20. Le parement d'aval se compose de cinq zones ; la plus basse, de $4^m,50$ de hauteur, avec une pente de 0,23 ; la seconde, de $7^m,50$ de hauteur, en retrait de $0^m,35$ sur la première avec une pente de 0,77 ; la troisième, de $26^m,50$ de hauteur, en retrait de $1^m,50$ sur la seconde, avec une pente de 0,72 ; la quatrième, de $6^m,85$ d'élévation, est un segment de surface annulaire tangent au parement de la zone précédente et à la surface verticale de $2^m,65$ d'élévation, qui compose la cinquième et dernière partie.

La longueur totale de l'ouvrage, mesuré en couronne, du côté d'aval, est de $311^m,50$, dont 167 mètres pour le corps central, $45^m,50$ pour l'aile droite, 79 mètres pour l'aile gauche et 10 mètres pour chacun des cônes de jonction.

F. D.

PÉRIODIQUES ITALIENS.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Giornale del Genio civile (avril 1897) : F. Cavaliere. — *Note sur la construction du tronçon Roccaravindola-Isernia de la ligne Caianello-Isernia.* — Deux souterrains sur quatre, le tunnel Campacchione, long de 364,28 mètres, et le tunnel Riccioni, long de 176 mètres, ont présenté des difficultés d'exécution et donné lieu à des accidents. Ces souterrains à une voie, creusés dans l'argile bleue humide, revêtus en maçonnerie sur $0^m,90$ d'épaisseur avec une voûte de forme ovale, n'avaient pas de contre-voûte inférieure pour maintenir l'écartement des piédroits. Par suite de la poussée de l'argile, ces piédroits se sont rapprochés l'un de l'autre, et la déformation de la section a été telle qu'il a fallu reconstruire le revêtement dans les parties les plus endommagées, en augmentant l'épaisseur des maçonneries, et ajoutant un radier contre-voûté. Ailleurs, on s'est borné à ajouter ce radier. Le prix de ces réparations s'est élevé à

2.546 francs par mètre linéaire pour les parties entièrement refaites, et à 464 francs pour celles seulement consolidées par l'addition d'un radier contre-voûté.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Giornale del Genio civile (janvier-février 1897) : Aug. Polidori. — *Les travaux d'aménagement du pont Elius ou Saint-Ange à Rome.* — Le pont Elius a été construit vers l'an 136, par l'empereur Elius Trajan Adrien, en même temps que le mausolée de ce prince. Divers travaux de transformation ou de restauration y furent exécutés par la suite. On doit à l'architecte Bernin les beaux parapets, avec piédestaux et statues surmontant les piles, qui décorent le dessus du pont. Avant les derniers travaux d'aménagement entrepris à partir de 1892, le pont Saint-Ange, dont la masse était restée dans son état primitif, se composait, entre les murs de quai, de trois grandes arches à plein cintre, de 18 mètres de diamètre, accompagnées sur chaque rive d'une arche de $7^m,40$ d'ouverture, et, en outre, sur la rive droite, d'une petite arche de $3^m,55$.

Le débouché fourni par ces arches, dont celles de rive droite étaient obstruées en grande partie, se trouvait insuffisant. La grande inondation de 1598 avait emporté la majeure partie du parapet. La crue extraordinaire de décembre 1870, survenue aussitôt après la prise de possession de Rome par le Gouvernement italien, mit en évidence la nécessité d'accroître le débouché.

Une commission fut nommée en 1871 pour étudier les moyens de rendre les crues du Tibre inoffensives, et dès lors fut décidé en principe l'agrandissement du pont Saint-Ange, que les conseils techniques se trouvèrent unanimes à réclamer. Cependant les archéologues, le Municipe de Rome et le Ministère de l'Instruction publique s'y opposèrent de toutes leurs forces. Mais le Conseil supérieur des Travaux publics décida péremptoirement, le 10 septembre 1887, qu'il y avait lieu d'agrandir le pont malgré toutes les oppositions.

Aux trois grandes arches du pont romain on en ajouta deux autres, une sur chaque rive en supprimant les petites arches. Le pont actuel se compose de cinq arches pareilles de 18 mètres d'ouverture, avec un parapet et une chaussée horizontaux sur toute la longueur. Les travaux, adjugés en février 1892, se trou-

vèrent terminés à la fin de 1894; le pont fut rendu à la circulation le 5 janvier 1895. La dépense s'est élevée à 1.003.485 francs.

D'importantes découvertes archéologiques, qui intéressent aussi l'art de la construction, ont été faites au cours des travaux.

Les déblais exécutés sur la rive gauche ont mis à jour l'ancienne rampe du pont, construite en pierre et traversée par deux petites arches de décharge. Les maçonneries et la chaussée en étaient parfaitement conservées. Ainsi le pont primitif avait huit arches : trois grandes, deux moyennes et trois petites ; et de ces dernières il y avait deux sur la rive gauche, et une seule sur la rive droite.

Les fouilles de la rive droite ont fait apparaître les parties extrêmes des anciens parapets restés en place et enfouis par suite d'un relèvement de la chaussée à l'extrémité du pont.

Les anciennes fondations ont été soigneusement étudiées. Un sondage fait dans le lit du fleuve, entre deux piles, et poussé jusqu'à 15^{m},10 au-dessous du niveau des basses eaux ordinaires, a prouvé que, contrairement au dire de Piranesi, il n'y avait pas de radier général sous le pont.

Un autre sondage, exécuté sur l'avant-bec d'amont de la première pile de rive droite, a montré que le massif inférieur de la pile se compose, jusqu'à 10^{m},44 de profondeur au-dessous de l'étiage, d'assises régulières en blocs de travertin et de peperin, recouvrant une maçonnerie de blocage faite avec des moellons de lave.

Les culées sont fondées de même. On a retrouvé les encoffrements en charpente qui ont servi à en exécuter les massifs inférieurs. Ils étaient rectangulaires et à triple enceinte, formés de pieux en chêne ou en mélèze parfaitement équarris et juxtaposés, liés ensemble par des longrines en sapin, et munis de couvre-joints formés par des bandes de plomb. Les pieux des deux enceintes intérieures mesuraient en section 0^{m},40 sur 0^{m},40. Ceux de l'enceinte extérieure mesuraient 0^{m},40 sur 0^{m},25 et se trouvaient en contact sur les petits côtés.

Ces enceintes formaient l'ossature, admirablement construite, de bâtardeaux évidemment destinés à bâtir à sec, à grande profondeur, les massifs de fondation du pont.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Giornale del Genio civile (janvier-février 1897) : G. Marchi. — *Le chemin de fer de Lucques à Viareggio dans la traversée du marais de Massaciuccoli.* — La troisième section de la ligne de Lucques à Viareggio, longue de 8.495 mètres, traverse le marais tourbeux de Massaciuccoli, dont le sol présente la composition suivante : à la surface, soit une couche de terre végétale de $0^m,50$ à 2 mètres d'épaisseur, soit une croûte d'environ $0^m,40$ d'épaisseur formée des racines d'une plante marécageuse appelée *falasco*, qui est employée comme litière. Au dessous, une couche tourbeuse, formée de matières organiques décomposées (ayant seulement pour densité 1,035 aussitôt après l'extraction), qui présentent à peu près la même composition que le fumier de ferme, avec une odeur encore plus forte. Cette tourbe semi-fluide repose sur un banc de sable situé à des profondeurs pouvant dépasser 12 mètres au-dessous du niveau de la mer.

On a expérimenté au préalable la résistance de la couche de terre végétale dans les parties où elle est épaisse. On a reconnu que cette couche, même épaisse de $1^m,50$, est incapable de porter aucune maçonnerie. Il a donc fallu prendre le parti de fonder tous les ouvrages d'art sur le banc de sable inférieur à la tourbe. On a adopté le système de fondation par pilotis avec plate-forme de béton ; mais, quelques-uns des ouvrages ainsi fondés ayant donné des signes évidents d'instabilité, on a dû les consolider en enveloppant les pieux de fondation d'une masse de béton descendue jusqu'au fond de sable

Une expérience préalable, faite en vue de l'exécution des remblais, a montré que ces remblais traversent toute la tourbe et descendent jusqu'au sable avec des parois assez raides. On a admis, pour l'inclinaison de ces parois noyées un angle d'environ 27 degrés avec la verticale. De fait, le cube total enfoui dans le marais a été de 265.718 mètres cubes, pour 135.819 mètres cubes de remblais apparents, soit une proportion de 1,96 du premier au second.

La dépense totale kilométrique a été de 251.260 francs, non compris l'acquisition du terrain, et de 278.300 francs, y compris cette acquisition.

F. D.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

1897.

N° 39

OUVRAGES FRANÇAIS.

I. — **Sciences appliquées.**

Appell (P.) et E. Lacour. — Principes de la théorie des fonctions elliptiques et applications ; par P. Appell, de l'Institut, et E. Lacour, maître de conférences à l'Université de Nancy. In-8°, IX-421 pages, avec fig. Paris, impr. et libr. Gauthier-Villars et fils. 12 fr.

Bazin. — Expériences nouvelles sur la distribution des vitesses dans les tuyaux; par M. Bazin. In-4°, 27 p., avec fig. et 4 planches. Paris, Impr. Nationale.

Durand-Claye (C.-L.), Derôme et R. Féret. — Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur. 2e *édition*, revue et considérablement augmentée. Première partie : Analyse chimique des matériaux de construction ; par Ch.-Léon Durand-Claye, ancien directeur du laboratoire à l'École des Ponts et Chaussées, et Derôme, chimiste de ce laboratoire. Seconde partie : Étude spéciale des matériaux d'agrégation des maçonneries; par René Féret, chef du laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne-sur-Mer. In-8°, XIII-590 p., avec fig. Tours, impr. Deslis frères. Paris et Liège, lib. Baudry et Cie.

II. — **Matériaux et Procédés généraux de Construction.**

Codron (C.). — Procédés de forgeage dans l'industrie ; par C. Codron, ingénieur civil, professeur du cours des arts méca-

niques à l'Institut industriel du Nord. In-8°, VIII-554 p., avec fig. et album de 47 planches. Paris, impr. Chaix ; libr. Bernard et Cie.

DELALOE (L.). — Manuel pratique du charpentier en fer; par Léon Delaloe, ingénieur civil. 2e *édition*, 1 vol. in-8°, avec fig. et planches. 6 fr.

GAUDARD (J.). — Application du système Cantilever aux halles métalliques. Halle des machines de l'Exposition suisse en 1896 ; par Jules Gaudard, professeur à l'École d'ingénieurs de Lausanne. In-8°, 28 p. avec grav. Paris, impr. Chaix, 6, rue de la Chaussée-d'Antin.

HERVIEU (J.). — Traité pratique de la construction des égouts : leurs dispositions, procédés employés pour leur construction, métrage des travaux, application des prix ; par Jules Hervieu, conducteur des ponts et chaussées, chef de circonscription au service municipal des travaux de Paris ; précédé d'une préface par Raynald Legouez, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du service des égouts de Paris. 1 vol. grand in-8°, avec 278 fig. dans le texte, relié. 20 fr. Paris, libr. Baudry et Cie.

NEVEU (F.) et L. HENRY. — Manuel pratique de laminage du fer ; par MM. F. Neveu et Léon Henry, ingénieurs mécaniciens. In-16, 79 pl., avec 6 fig. et 10 tableaux et un atlas de 117 pl. Laval, impr. Jamin. Paris, libr. Tignol.

PLANAT. — Fermes de combles, dimensions des pièces, charpente en bois. — Types usuels ; par P. Planat, directeur de *la Construction moderne*. Deux albums in-folio (37 × 47), se composant de 154 planches et d'un texte explicatif. Prix, 50 fr., l'ouvrage complet. Paris, libr. Aulanier et Cie.

REISER (F.). — Théorie et pratique de la trempe de l'acier ; par Fridolin Reiser, directeur de l'aciérie de Kapfenberg. 2e *édition*. Traduit de l'allemand par Barbary de Langlade, ingénieur civil des mines. In-8°, IV-194 p. Evreux, impr. Hérissey. Paris, libr. Baudry et Cie.

VASSELON (F.). — Carnet du conducteur de travaux : recueil de formules, tables, renseignements pratiques et documents concernant la construction ; par F. Vasselon, ingénieur civil. 8e *édition*, revue et augmentée, 1897. 1 vol. in-18, cart. toile anglaise. 6 fr. 75. Paris, libr. Bernard Tignol.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Henry (Ernest). — Traité pratique des chemins vicinaux; par Ernest Henry, inspecteur général des ponts et chaussées. 1 vol. grand in-8°, avec fig. dans le texte, 20 fr.

Routes nationales. Recensement de la circulation en 1894. In-4°, 112 p. et planches en coul. Paris, impr. Nationale. 4 fr.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles, etc.

Demoulin (M.). — Chemins de fer. Locomotive et matériel roulant; par Maurice Demoulin, ingénieur des arts et manufactures. In-16, VIII-402 pages, avec fig. Tours, impr. Deslis frères. Paris, libr. Vve Dunod et P. Vicq.

Lockert (L.). — Traité des véhicules automobiles sur routes; par Louis Lockert, ingénieur, délégué du Touring-Club de France. Les Voitures à pétrole. In-18 jésus, 296 p., avec 90 figures. Mayenne, impr. Soudée. Paris, au Touring-Club de France; l'auteur, 26 place Dauphine. 2 fr. 50.

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1895. Documents principaux. In-4°, 505 p. et 2 cartes en coul. Paris, impr. Nationale. 5 fr.

Tainturier (C.). — La traction électrique : tramways, chemins de fer, petites voitures; par C. Tainturier, ingénieur des arts et manufactures, ingénieur de la Compagnie des Tramways électriques de Paris à Romainville. 1 vol. in-8°, avec 120 fig. dans le texte. Prix, broché, 6 fr. Paris, libr. J. Fritsch.

Thiéry (E.) et C. Demonet. — Les transports par câbles aériens; par E. Thiéry, professeur à l'Ecole nationale forestière, et Ch. Demonet, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, VIII-114 pages et planches. Nancy, imp. Nicolle.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distributions d'eau.

Debauve (A.). — Distributions d'eau. Égouts; par A. Debauve, ingénieur en chef des ponts et chaussées. T. Ier : Hydraulique; Théorie et Calcul des tuyaux et des aqueducs forcés ou à ciel ouvert; Jaugeages; Compteurs; Étude physique, chimique et bactériologique de l'eau; Filtrage et Purification : Eaux superficielles; Citernes, Digues et Grands Réservoirs; Sources natu-

relles et artificielles ; Puits et Forages; Galeries souterraines; Pompes; Moteurs à vent. In-8°, 715 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères. Paris, libr. Vicq-Dunod et Cie.

DENFER (J.). — Architecture et Constructions civiles; Plomberie, Eau, Assainissement, Gaz; par J. Denfer, architecte. In-8°, 572 p. et fig. Tours, impr. Deslis frères. Paris, libr. Baudry et Cie. 20 fr.

PICARD (P.). — Traité pratique du chauffage et de la ventilation (principes, appareils, installations, etc.) ; par P. Picard, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, XII-584 pages, avec 505 fig. Laval, imp. Jamin. Paris, libr. Baudry et Cie.

VIII. — Machines.

DUMONT (G.) et G. BAIGNÈRES. — Les ascenseurs (Ascenseurs hydrauliques; Ascenseurs hydrauliques avec emploi de moteurs à air comprimé, à gaz ou électriques ; Ascenseurs électriques); par G. Dumont et G. Baignères, ingénieurs des arts et manufactures. In-8°, 112 pages, avec fig. Paris, impr. Chaix; libr. Vicq-Dunod et Cie.

GIRARD (J.-B.). — Traité pratique des chaudières marines (description, entretien, conduite), à l'usage des mécaniciens de la marine militaire, de la marine du commerce et de l'industrie; par J.-B. Girard, mécanicien-ingénieur de la marine. In-16, 598 p., avec 20 planches et de nombreuses figures. Évreux, impr. Hérissey. Paris, libr. Baudry et Cie.

HIRSCH (J.) et A. DEBIZE. — Leçons sur les machines à vapeur; par J. Hirsch, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et A. Debize, ingénieur en chef du service central des constructions des manufactures de l'État. T. 1er, 2e fascicule. In-8°, p. 567 à 1088, avec fig. et atlas in-f° (pl. 8 à 17). Paris, impr. Lahure ; libr. Vve Dunod.

MONTCHOISY (de). — Compléments au cours pratique et théorique de machines à vapeur professé à l'École supérieure de maistrance de la marine ; par le baron de Montchoisy, ingénieur de la marine. Appareils à vapeur nouveaux ; Machines à détente fractionnée ; Générateurs à haute pression. In-8°, II-220 p. Mesnil, impr. Firmin-Didot et Cie. Paris, libr. Challamel.

SOSNOWSKI (K.). — Roues et Turbines à vapeur ; par K. Sosnowski, ingénieur civil. In-8°, IV-195 p., avec fig. Évreux, impr. Hérissey. Paris, libr. Baudry et Cie.

Witz (A.). — Analyse d'une machine compound; par M. A. Witz, doyen de la Faculté libre des sciences de Lille. 1 broch. in-8°, avec 1 planche. Prix, 1 fr. 50.

IX. — Électricité.

Créchet (Cl.). — L'énergie électrique : notions élémentaires d'électricité industrielle, phénomènes et principes généraux; production de l'électricité; par Clément Créchet, professeur d'enseignement industriel au Havre. 1 vol. in-8°, 334 p. et 226 grav. Prix, 6 fr. Paris, libr. Bernard Tignol.

Drouin (F.). — L'Acétylène ; par F. Drouin. In-16, 96 p. Tours, impr. Deslis frères. Paris, libr. Mendel.

Dumont (G.). — Électromoteurs; leurs applications; par G. Dumont, ingénieur des arts et manufactures. In-16, 184 pages, avec fig. Saint-Amand, impr. Bussière frères. Paris, libr. Gauthier-Villars et fils; libr. Masson et Cie. 2 fr. 50.

Dupuy (P.). — La traction électrique : tramways, locomotives et métropolitains électriques; traction dans les mines sur eau et sur route; études et projets; matériel; prix de premier établissement; exploitation; prix de revient et rendement financier; par Paul Dupuy, ingénieur électricien. 1 vol. in-8° de plus de 500 pages, avec 264 fig. 12 fr.

Éric Gérard. — Leçons sur l'électricité, professées à l'institut électrotechnique Montefiore annexé à l'Université de Liège; par Éric Gérard, directeur de cet institut. 2 vol. grand in-8° se vendant séparément : T. Ier : Théorie de l'électricité et du Magnétisme; Electrométrie; théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques, 5e *édition*. Vol. de xi-800 pages, avec 381 fig.; 1897. 12 fr. T. IIe : Canalisation et distribution de l'énergie électrique; application de l'électricité à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à la télégraphie et à la téléphonie, à l'éclairage et à la métallurgie, 4e *édition*, avec 263 fig.; 1895. 12 fr. Paris, impr. et libr. Gauthier-Villars et fils.

Fabry (C.). — Piles électriques; par Ch. Fabry, maître de conférences à la Faculté des sciences de Marseille. In-16, 171 pages avec fig. Saint-Amand, imp. Destenay; Bussière frères. Paris, libr. Gauthier-Villars et fils; Masson et Cie. 2 fr. 50.

Lefèvre (J.). — L'Éclairage. Éclairage électrique; par J. Lefèvre, professeur à l'École des sciences et à l'École de médecine de

Nantes. In-16, 192 pages, avec fig. Saint-Amand, impr. Destenay, Bussière frères. Paris, libr. Gauthier-Villars et fils; Masson et Cie. 2 fr. 50.

Loppé (F.). — Les transformateurs de tension à courants alternatifs; par F. Loppé, ingénieur des arts et manufactures. In-16, 206 p., avec fig. Saint-Amand, impr. Destenay, Bussière frères. Paris, libr. Gauthier-Villars et fils; libr. Masson et Cie. 2 fr. 50.

Mascart (E.) et J. Joubert. — Leçons sur l'électricité et le magnétisme, d'E. Mascart et J. Joubert. 2e *édition*, entièrement refondue; par E. Mascart, membre de l'Institut. T. II : Méthodes de mesure et Applications. In-8°, 921 p., avec 160 fig. Corbeil, impr. Crété. Paris, libr. Masson et Cie; Gauthier-Villars et fils. 25 fr. les deux volumes; ensemble, 45 fr.

Moissan (H.). — Le Four électrique; par M. Henri Moissan, de l'Institut. In-8°, vi-387 p. Le Havre, impr. Lemale et Cie. Paris, libr. Steinheil. 15 fr.

Montpellier (J.-A.). — Les Dynamos (Principes; Descriptions; Installation ; Conduite ; Entretien ; Dérangements) ; par J.-A. Montpellier, rédacteur en chef de *l'Electricien*. In-8°, 452 p., avec fig. Paris, impr. de Soye et fils; libr. Vicq-Dunod.

Perrodil (C. de). — Le Carbure de calcium et l'Acétylène; les Fours électriques; par C. de Perrodil, ingénieur des arts et manufactures. Préface de M. Henri Moissan, membre de l'Institut. In-16, 326 p. Laval, impr. Jamin. Paris, libr. Vicq-Dunod et Cie. 7 fr.

Picou (R.-V.). — Distribution de l'électricité. Installations isolées; par R.-V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. 2e *édition*. In-16, 160 p., avec fig. Saint-Amand, impr. Bussière frères. Paris, libr. Gauthier-Villars et fils ; Masson et Cie. 2 fr. 50.

X. — **Architecture.**

Baranowski. — L'architecture à l'Exposition nationale russe de l'industrie et des beaux-arts à Nijni-Novgorod, 1896; publiée par l'ingénieur G. Baranowski. 1 album splendide in-4°, contenant 335 planches: vues, façades, dessins, plans horizontaux et coupes perpendiculaires. Les suscriptions sont en 4 langues, en russe, en allemand, en français et en anglais; le texte, 14 pages, en russe. Prix, 40 fr. Saint-Pétersbourg, libr. K.-L. Ricker, perspective de Nevsky, 14.

LEFÈVRE (V.). — Les cheminées d'usines; construction; réparations; par Victor Lefèvre; ingénieur civil. In-16, 48 p., avec 13 fig. Paris, impr. Lambert, Epinette et Cie; libr. Tignol.

XI. — Administration. — Législation.

FREMONT (R.). — Code de l'abordage. Traité juridique des responsabilités résultant des collisions de navires; par Robert Fremont, avocat à la cour d'appel de Paris. In-18 jésus, XXIV-296 p. Beaugency, impr. Laffray. Paris, libr. Giard et Brière, 3 fr.

MARTIN (E.). — Code nouveau de la pêche fluviale, annoté et expliqué d'après la jurisprudence de la Cour de cassation et des cours d'appel, à l'usage des gendarmes et des agents chargés de la surveillance de la pêche; par E. Martin, docteur en droit, ancien avocat à la cour d'appel de Paris. 10e *édition*, revue, augmentée et mise au courant de la législation et de la jurisprudence. In-18, 294 p. Paris, impr. et libr. Léautey.

TOUZAC (P.). — Droit administratif; par Paul Touzac, licencié en droit, rédacteur au Ministère des travaux publics, secrétaire de l'Association polytechnique. 1 vol. grand in-16 de 511 p. 9 fr.

XII. — Divers.

GAUTIER (E.). — L'Année scientifique et industrielle, fondée par Louis Figuier (40e année, 1896); par Émile Gautier. In-16, XI-531 p., avec grav. et portraits. Paris, impr. Lahure; libr. Hachette et Cie. 3 fr. 50.

LEFÈVRE (J.). — L'Éclairage. Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras; par Julien Lefèvre, professeur à l'École des sciences et à l'École de médecine de Nantes. In-16, 180 p., avec figures. Saint-Amand, impr. Destenay, Bussière frères. Paris, libr. Gauthier-Villars et fils; Masson et Cie. 2 fr. 50.

Société centrale des architectes français. Série des prix applicables aux travaux de bâtiments exécutés pour le compte des particuliers dans la ville de Paris. 8e *édition* (1897). In-4e, VIII-1278 p. Évreux, impr. Hérissey. Paris, libr. G. Delarue.

1897. — 3e TRIMESTRE.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE D'INSERTION.

Les Éditeurs-Gérants : P. Vicq-Dunod et Cie.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

1re PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

7e SÉRIE

7e ANNÉE

1897

4me TRIMESTRE

EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES
DE L'ÉDITEUR DES **ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES**
(Période 1881-1900)

Conditions stipulées au profit des auteurs :

Vingt-cinq exemplaires seront remis à chacun des auteurs des mémoires publiés.

. . . .

Mme Dunod devra exécuter, pour le compte des auteurs qui en auront fait la demande au moment même où ils enverront leurs manuscrits à l'Administration, et sur l'avis qui lui en sera donné, des tirages à part de leurs mémoires aux prix suivants :

1° Par *feuille de texte* et pour le premier cent d'exemplaires 10 francs ; pour chaque centaine en plus, 5 francs ;

2° Par *planche* et par cent exemplaires, 10 francs ;

3° Pour *brochage, couverture et faux frais :* pour une feuille de texte seule, 2 fr. 50 ; pour chaque feuille supplémentaire et chaque planche, 25 centimes ;

4° Pour un *titre spécial imprimé*, 10 francs.

Les auteurs qui ne pourraient s'entendre avec Mme Dunod pour la publication et la vente de leurs mémoires extraits des *Annales* qu'ils voudraient publier séparément pourront, avec l'autorisation de l'Administration, traiter avec tout autre éditeur et, dans ce cas, les planches et les bois des *Annales* pourront leur être prêtés pour les tirages qu'ils auront à faire ; mais la mise en vente de leurs mémoires ne pourra avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons des *Annales* auxquelles ils auront été empruntés.

AVIS IMPORTANT.

La Commission des *Annales* rappelle qu'elle n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs, et qu'elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

Ire PARTIE

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

7e SÉRIE

7e ANNÉE

1897

4me TRIMESTRE

PARIS

P. VICQ-DUNOD ET Cie, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

N° 40

NOTE

SUR LES DIVERSES MANIÈRES D'APPLIQUER LA RÈGLE DU TRAPÈZE AU CALCUL DE LA STABILITÉ DES BARRAGES EN MAÇONNERIE

Par M. Maurice LÉVY, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

La règle hypothétique dite du trapèze a été, comme on sait, appliquée aux barrages, de diverses manières, à savoir :

Par M. l'Inspecteur Général Delocre, aux sections horizontales;

Par M. l'Inspecteur Général Bouvier, aux sections normales à la courbe des pressions;

Par M. l'Inspecteur Général Guillemain, à celle des sections issues de chaque point du parement d'aval, qui donne la plus grande pression normale en ce point.

Soient respectivement

$$n'', \qquad n''_1, \qquad n''_2,$$

les pressions normales qu'on trouve en un point du parement d'aval suivant que l'on applique la règle du trapèze de ces trois manières. On aura :

$$n''_2 > n''_1 > n'',$$

c'est-à-dire que c'est naturellement la manière de faire de M. Guillemain qui donnerait la plus forte pression, celle n''_2 ; puis vient celle n''_1, obtenue par le procédé de M. Bouvier; et enfin la méthode de M. Delocre donnerait la plus faible pression n''.

D'après cela, la prudence commanderait l'emploi de la marche préconisée par le premier de ces auteurs, encore que ce soit la plus laborieuse.

Mais, en fait, elle ne donne pas la pression maximum et ne fournit pas chance d'en approcher plus que les procédés plus simples de MM. Delocre et Bouvier. La pression maximum, en effet, s'exerce sur l'élément *normal* au parement d'aval. C'est là un principe *rigoureux*, c'est-à-dire indépendant de la loi du trapèze, comme de toute autre hypothèse. J'ai déjà insisté sur ce fait capital dans ma communication à l'Académie des Sciences du 5 août 1895; mais, comme je n'en ai pas donné la démonstration, on n'a peut-être pas suffisamment pris garde que la règle qu'il fournit est certaine et n'a pas le caractère empirique des règles qui dérivent de la loi du trapèze. Je vais donc établir cette proposition, qui est d'ailleurs un corollaire de la théorie mathématique de l'élasticité. Je montrerai ensuite les conséquences qu'elle entraîne relativement à la manière d'appliquer la loi du trapèze, qu'on l'applique à la façon de M. Delocre ou à celle de M. Bouvier ou de M. Guillemain.

Soient : a (*fig.* 1), un point du parement aval d'une digue ; ab, un élément superficiel (je suppose, suivant l'usage, qu'on considère une longueur de digue de $1^m,00$) normal à ce parement ; et ac, un élément quelconque formant avec l'élément normal un angle $\widehat{cab} = i$.

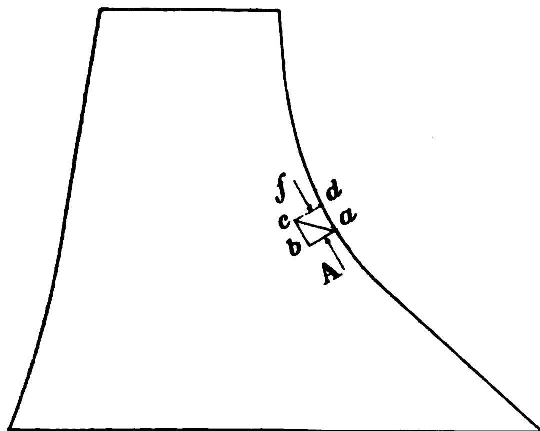


Fig. 1.

Traçons l'élément cb parallèle à la tangente au parement en a.

Le prisme triangulaire infinitésimal, projeté suivant sa section droite acb, est en équilibre sous l'influence : 1° des pressions qu'il supporte sur ses trois faces ; 2° de son poids. Mais, comme les pressions sur les faces ac et ab sont de l'ordre de grandeur de ces faces, c'est-à-dire infiniment petites du premier ordre, tandis que le poids du triangle est de l'ordre de sa surface ou du second ordre, ce poids est rigoureusement négligeable. Il en est de même de la pression exercée sur l'élément cb parallèle à la paroi. Car, si nous complétons le rectangle $abcd$, l'élément ad sur la paroi supporte une pression rigoureusement nulle ; donc la pression par unité de surface sur l'élément cb parallèle à ad est infiniment petite, et

cette pression multipliée par l'élément *cb* lui-même est du second ordre.

Donc, en définitive, le triangle est *rigoureusement* en équilibre sous l'influence des deux seules pressions exercées sur ses côtés *ac* et *ab*. Donc ces deux forces sont égales et directement opposées, et, comme on peut les regarder comme appliquées respectivement aux milieux de ces côtés, elles sont l'une et l'autre dirigées suivant la droite qui joint les milieux de ces côtés, c'est-à-dire qu'elles sont parallèles à la tangente au point *a* du parement.

Ainsi on a ce théorème :

La pression totale exercée sur n'importe quel élément issu d'un point du parement aval d'un barrage est parallèle à la tangente au parement en ce point.

D'où ce corollaire :

La pression exercée sur un élément normal au parement d'aval est normale à cet élément.

Soient : A, la pression par unité de surface exercée sur l'élément *ab* normal au parement en *a* ; et *f*, la pression totale par unité de surface exercée sur l'élément quelconque *ac* faisant l'angle *i* avec l'élément normal.

Les pressions exercées sur ces deux éléments sont respectivement :

$$A \times ab \qquad \text{et} \qquad f \times ac.$$

Et, comme ces deux forces se font équilibre, on a :

$$f \times ac = A \times ab,$$

d'où :

$$f = A\frac{ab}{ac} = A \cos i.$$

Soient f_t et f_n les composantes normale et tangentielle de f, on aura :

$$f_n = f\cos i = A\cos^2 i \qquad (1)$$

$$f_t = f\sin i = A\sin i\cos i = \frac{A}{2}\sin 2i \qquad (2)$$

La première de ces expressions montre que le maximum de f_n a lieu pour $i = o$, et est égal à A. *C'est donc bien l'élément normal qui supporte la pression maximum* (*). Et si, par un moyen quelconque (règle du trapèze ou autre), on a trouvé la pression normale f_n exercée sur un élément faisant l'angle i avec l'élément normal, la pression maximum est :

$$A = \frac{f_n}{\cos^2 i}.$$

Observons encore que, d'après la formule, le maximum de la force de cisaillement en un point du parement d'aval a lieu pour $i = 45°$ et est toujours égal à $\frac{A}{2}$, d'où cette proposition importante au point de vue de la destruction des digues par cisaillement : *Le maximum de l'effort de cisaillement en un point du parement d'aval a lieu suivant les deux directions inclinées à* 45°, *sur ce parement et atteint toujours, en valeur absolue, la moitié de l'effort maximum de compression* A.

Revenons à présent à ce dernier effort. Soient respectivement :

$$i, \quad i_1, \quad i_2,$$

les angles que forment, avec la normale à la paroi d'aval en un point a, la section horizontale (Delocre), la section normale à la courbe des pressions (Bouvier) et la section pour laquelle f_n est maximum (Guillemain). Les pressions en a sur ces sections, trouvées par la règle du trapèze, étant désignées respectivement par :

$$n', \quad n'_1, \quad n'_2$$

(*) La démonstration qui précède montre que les observations présentées à ce sujet par M. l'Ingénieur en chef Pelletreau, aux pages 98 et 100 des *Annales* (1er trimestre 1897), sont sans fondement.

la pression maximum à adopter est :

Par la méthode Delocre............. . $A = \frac{n''}{\cos^2 i}$

Par la méthode Bouvier............... $A_1 = \frac{n''_1}{\cos^2 i_1}$

Par la méthode Guillemain............ $A_2 = \frac{n''_2}{\cos^2 i_2}$

et non n'', ou n''_1, ou n''_2, comme l'indiquent ces auteurs. Mais, tandis que l'on a :

$$n''_2 > n''_1 > n'',$$

il n'y a aucune raison pour que l'on ait :

$$\frac{n''_2}{\cos^2 i_2} > \frac{n''_1}{\cos^2 i_1} > \frac{n''}{\cos^2 i}.$$

La règle de M. Guillemain, complétée comme il vient d'être dit, n'offre donc pas plus de sécurité que celles de ses devanciers complétées de même.

Si l'hypothèse de la loi du trapèze appliquée aux sections considérées par l'un de ces trois éminents ingénieurs entraînait, comme conséquence, la vérification de la même loi pour les sections envisagées par les deux autres, leurs méthodes, appliquées comme il vient d'être dit, seraient équivalentes, c'est-à-dire que l'on aurait nécessairement :

$$\frac{n''_2}{\cos^2 i_2} = \frac{n''_1}{\cos^2 i_1} = \frac{n''}{\cos^2 i}.$$

Mais les trois méthodes sont bien exclusives les unes des autres, parce que la règle du trapèze étant appliquée à un système de sections, les pressions sur toutes les autres sections sont complètement déterminées, comme il résulte de ma note susmentionnée du 5 août 1895, et

n'obéissent pas à la loi du trapèze. Les forces

$$\frac{n'_2}{\cos^2 i'}, \quad \frac{n'_1}{\cos^2 i_1}, \quad \frac{n''_2}{\cos^2 i_2}$$

ne sont donc pas mathématiquement les mêmes. Mais il résulte d'un calcul numérique que M. l'Ingénieur en chef Denys a bien voulu faire à ma demande, pour les trois sections Delocre, Bouvier et Guillemain issues d'un point du parement aval situé à 32 mètres de profondeur de la digue de New-Croton de 73 mètres de hauteur, qui vient d'être construite en Amérique, que ces trois grandeurs ne diffèrent pas plus de 2 0/0 de leurs valeurs. Il paraît donc résulter de là que, pratiquement, les trois méthodes appliquées comme je l'indique sont équivalentes. Il y aurait donc lieu d'adopter la plus simple, celle de M. Delocre qui consiste à appliquer la règle du trapèze aux sections horizontales. A l'avantage de la simplicité elle en joint un autre, plus important encore. C'est qu'elle s'applique sur toute la hauteur de la digue, tandis que des sections inclinées cessent, vers le bas de la digue, de rencontrer le parement d'amont et rencontrent la base de la digue, ce qui donne lieu à des difficultés et exige de nouvelles hypothèses (*).

D'après les observations qui précèdent, la méthode de M. l'Inspecteur Général Guillemain perd un peu de sa raison d'être. Elle consiste en effet à appliquer la loi du trapèze à la section qui, en chaque point du parement d'aval, donne le maximum n''_2 de la pression normale à cette section, tandis que, ce qu'il faudrait chercher, c'est la section qui donne le maximum de A, c'est-à-dire de $\frac{n''_2}{\cos^2 i_2}$. Mais on serait ainsi amené à des résultats excessifs et à des sections qui s'éloi-

(*) Mais, si ces difficultés existent pour l'application de la règle du trapèze, elles n'atteignent en rien les théorèmes fondamentaux établis plus haut.

gneraient beaucoup trop des sections normales à la fibre moyenne, lesquelles sont, en fait, les seules auxquelles les principes de la Résistance des matériaux prescrivent d'appliquer la loi du trapèze. Moyennant le correctif indiqué dans la présente note, on peut aussi l'appliquer aux sections envisagées par M. Bouvier ou par M. Delocre, et c'est à ces dernières qu'en raison des considérations qui viennent d'être indiquées il paraît convenable et suffisant d'en faire l'application.

On peut, toutefois, pour plus de sûreté, faire, d'une façon générale et assez précise, le parallèle entre les trois méthodes ou entre les valeurs des forces n'', n''_1, n''_2, aussi bien qu'entre celles

$$\frac{n''}{\cos^2 i}, \quad \frac{n''_1}{\cos^2 i_1}, \quad \frac{n''_2}{\cos^2 i_2},$$

par lesquelles je propose de les remplacer.

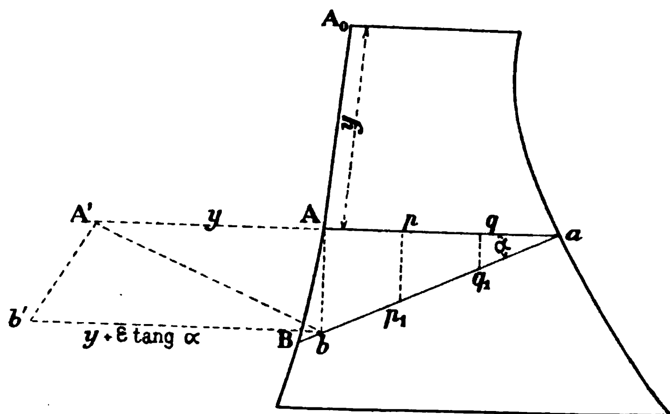


Fig. 2.

Reprenons, à cet effet (*fig.* 2), le profil d'une digue, et, en un point a, envisageons la section horizontale aA et

une section quelconque aB faisant avec la précédente un angle $\widehat{\text{A}a\text{B}} = \alpha$.

Quand bien même le parement d'amont n'est pas exactement vertical, on peut, sans grande erreur, en remplacer la partie AB, comprise entre les deux sections, par sa projection verticale Ab. C'est ce que je ferai. Dans une application particulière il serait facile de s'affranchir de cette simplification.

Appliquons la loi du trapèze à la section ab pour trouver la pression normale f_n au point a de cette section. A cet effet je la divise en trois parties égales par les points de division p_1, q_1, et je divise de même la section horizontale par les points de division p et q.

Cela étant, la pression *totale* exercée sur ab se compose :

1° De celle exercée sur Aa ;

2° Du poids du triangle Aab ;

3° De la pression de l'eau sur la portion Ab du parement d'amont.

La pression totale exercée sur Aa peut se décomposer en deux : l'une verticale, l'autre horizontale.

La première peut à son tour être décomposée en deux autres parallèles, appliquées en p et q. Représentons ces deux composantes verticales respectivement par :

$$\frac{n'\varepsilon}{2} \text{ et } \frac{n''\varepsilon}{2},$$

où l'on fait, pour abréger, A$a = \varepsilon$. Il se trouve alors que n' et n'' sont les pressions verticales en A et a, que donne l'application de la méthode de M. Delocre. On peut donc les calculer.

La force verticale $\frac{n'\varepsilon}{2}$, appliquée en p, se transmet en p_1, et, d'après la règle du trapèze, ne donne pas de pression normale en a.

Celle $\frac{n'\varepsilon}{2}$ se transmet en q_1. Sa composante normale à ab est :

$$\frac{n'\varepsilon}{2}\cos\alpha.$$

D'après la règle du trapèze, cette force donne, en a, le double de ce qu'elle donnerait si elle était uniformément répartie sur ab. Elle donnera donc :

$$(3)\qquad \frac{n'\varepsilon\cos\alpha}{ab} = \frac{n'\varepsilon\cos\alpha}{\left(\frac{\varepsilon}{\cos\alpha}\right)} = n'\cos^2\alpha.$$

Quelle que soit la forme du parement d'amont, la force horizontale ou de cisaillement sur aA est :

$$\frac{k_0y^2}{2},$$

en appelant k_0 le poids spécifique de l'eau, et en supposant la section aA placée à la profondeur y.

Cette force peut être décomposée en deux autres également horizontales appliquées en p_1 et q_1. La première ne donne pas de pression normale en a. La seconde est égale à :

$$k_0y^2.$$

Elle donne une composante normale à ab représentée par :

$$k_0y^2\sin\alpha,$$

et, au point a, une pression par unité de surface :

$$(4)\qquad \frac{2k_0y^2\sin\alpha}{ab} = \frac{2k_0y^2\sin\alpha\cos\alpha}{\varepsilon}.$$

Le poids du triangle Aab, étant dirigé suivant la verticale pp_1, ne donne pas de pression normale au point a.

La pression de l'eau sur le parement Ab substitué

approximativement à celui AB est représentée par un trapèze $AA'bb'$, où

$$AA' = AA_0 = y, \qquad \text{et} \qquad bb' = bA_0 = y + \varepsilon \operatorname{tang} \alpha.$$

On peut le décomposer en deux triangles par la diagonale $A'b$. Le triangle $A'bb'$ représente une force horizontale passant par le point p_1, et qui ne donne pas de pression normale en a.

Le triangle AbA' représente une force horizontale :

$$\frac{k_0 y \varepsilon \operatorname{tang} \alpha}{2},$$

qui passe par le point q_1. Sa composante normale à ab est :

$$\frac{k_0 y \varepsilon \operatorname{tang} \alpha \sin \alpha}{2}$$

et donne en a une pression normale :

$$(5) \qquad \frac{k_0 y \varepsilon \operatorname{tang} \alpha \sin \alpha}{\left(\frac{\varepsilon}{\cos \alpha}\right)} = k_0 y \sin^2 \alpha.$$

En réunissant les expressions (3), (4), (5), on trouve donc, pour la pression normale f_n, exercée en a sur la section ab :

$$f_n = n' \cos^2 \alpha + \frac{2k_0 y^2}{\varepsilon} \sin \alpha \cos \alpha + k_0 y \sin^2 \alpha,$$

ou :

$$(6) \qquad f_n = \frac{n' + k_0 y}{2} + \frac{n' - k_0 y}{2} \cos 2\alpha + \frac{k_0 y^2}{\varepsilon} \sin 2\alpha.$$

La pression n'_2, que donnerait la méthode de M. Guillemain, sans tenir compte de la modification à y apporter d'après les observations présentées plus haut, est le maximum de f_n, lorsqu'on fait varier α. Ce maximum est évidemment :

$$(7) \qquad n'_2 = \frac{n' + k_0 y}{2} + \sqrt{\left(\frac{n' - k_0 y}{2}\right)^2 + \frac{k_0^2 y^4}{\varepsilon^2}},$$

soit :

$$n'_2 - n' = -\frac{n' - k_0 y}{2} + \sqrt{\left(\frac{n' - k_0 y}{2}\right)^2 + \frac{k_0^2 y^4}{\varepsilon^2}}$$

pour la différence entre les pressions obtenues par les méthodes de MM. Delocre et Guillemain, telles qu'on les applique.

D'ailleurs l'inclinaison α_2 de la section ab, donnée par la méthode de M. Guillemain, s'obtient en annulant la dérivée de f_n par rapport à α. D'où :

$$-\frac{n' - k_0 y}{2} \sin 2\alpha_2 + \frac{k_0 y^2}{2} \cos 2\alpha_2 = 0,$$

ou :

(8) $$\operatorname{tang} 2\alpha_2 = \frac{2k_0 y^2}{\varepsilon(n' - k_0 y)}.$$

Soit i l'angle de fruit du parement d'aval en a. Les pressions maximums données respectivement par les méthodes Delocre et Guillemain, modifiées comme il est dit dans cette note, sont respectivement :

(9) $$A = \frac{n'}{\cos^2 i} \qquad \text{et} \qquad A_2 = \frac{n'_2}{\cos^2 (i - \alpha_2)}.$$

Les formules (7) et (8) permettent de faire la comparaison des deux méthodes ainsi appliquées.

Cherchons de même l'expression de la pression maximum n''_1 que donne la méthode de M. Bouvier, afin de la comparer aussi aux deux autres.

Il est nécessaire, pour cela, de chercher la force totale de cisaillement sur la section ab (*fig.* 2), la méthode de M. Bouvier revenant à choisir, parmi les sections ab, celle pour laquelle cette force de cisaillement est nulle.

La pression verticale sur la section Aa est :

$$\frac{n' + n''}{2} \varepsilon.$$

Le poids du triangle aAb est :

$$\frac{k\varepsilon^2}{2} \operatorname{tang} \alpha,$$

en appelant k le poids spécifique de la maçonnerie. La force verticale sur ab est donc :

$$\frac{n' + n''}{2} \varepsilon + \frac{k\varepsilon^2}{2} \operatorname{tang} \alpha ;$$

sa composante tangentielle comptée positivement de b vers a est :

$$-\left[\frac{n' + n''}{2} \varepsilon + \frac{k\varepsilon^2}{2} \operatorname{tang} \alpha\right] \sin \alpha.$$

La force de cisaillement sur Aa est :

$$\frac{k_0 y^2}{2}.$$

La pression de l'eau sur A et Ab est :

$$k_0 \left[y + \frac{\varepsilon \operatorname{tang} \alpha}{2}\right] \varepsilon \operatorname{tang} \alpha,$$

ce qui fait une force horizontale totale :

$$\frac{k_0}{2} [y^2 + 2y\varepsilon \operatorname{tang} \alpha + \varepsilon^2 \operatorname{tang}^2 \alpha$$

ou :

$$\frac{k_0}{2} [y + \varepsilon \operatorname{tang} \alpha]^2,$$

Sa composante suivant ba est :

$$\frac{k_0}{2} [y + \varepsilon \operatorname{tang} \alpha]^2 \cos \alpha.$$

La force de cisaillement totale est donc :

$$-\left[\frac{n' + n''}{2} \varepsilon + \frac{k\varepsilon^2}{2} \operatorname{tang} \alpha\right] \sin \alpha + \frac{k_0}{2} [y + \varepsilon \operatorname{tang} \alpha]^2 \cos \alpha.$$

On doit l'annuler pour avoir l'inclinaison $\alpha = \alpha_1$ de la section à envisager d'après M. Bouvier. On aura donc :

$$- k_0 (y + \varepsilon \operatorname{tang} \alpha_1)^2 + [(n' + n'') \varepsilon + k\varepsilon^2 \operatorname{tang} \alpha_1] \operatorname{tang} \alpha_1 = 0,$$

ou :

$$(k - k_0) \varepsilon^2 \operatorname{tang}^2 \alpha + (n' + n'' - 2k_0 y) \varepsilon \operatorname{tang} \alpha - k_0 y^2 = 0$$

D'où, en ne prenant que la racine positive :

$$\operatorname{tang} \alpha_1 = \frac{k_0 y - \frac{n' + n''}{2} + \sqrt{kk_0 y^2 - k_0 y (n' + n'') + \left(\frac{n' + n''}{2}\right)^2}}{\varepsilon (k - k_0)}.$$

La valeur de tang α_1 étant ainsi trouvée, l'équation (6), ou celle qui la précède, donne pour la pression maximum n_1'' fournie par la méthode de M. Bouvier :

$$n''_1 = \frac{n'' + \frac{2k_0 y^2}{\varepsilon} \operatorname{tang} \alpha_1 + k_0 y \operatorname{tang}^2 \alpha^1}{1 + \operatorname{tang}^2 \alpha_1}.$$

et pour la pression maximum correspondante, en tenant compte du théorème établi plus haut :

$$(10) \qquad A_1 = \frac{n''_1}{\cos^2 (i - \alpha_1)} = n''_1 [1 + \operatorname{tang}^2 (i - \alpha_1)],$$

i étant toujours l'angle du fruit du parement aval au point considéré. Ainsi les trois méthodes de MM. Delocre, Guillemain et Bouvier, appliquées en tenant compte du théorème rigoureux établi plus haut, donnent respectivement, pour la pression maximum, au point du parement d'aval les valeurs :

$$A, \qquad A_2, \qquad A_1,$$

déterminées par les équations (9) et (10), au lieu de celles :

$$n''_2, \qquad n''_1.$$

Dans une prochaine note je me réserve d'indiquer comment on peut, dans l'étude de la résistance des digues, substituer à l'emploi de la règle du trapèze, des moyens plus exacts tirés des principes de la théorie mathématique de l'élasticité. Je dirai de suite qu'en étudiant la question à ce point de vue j'ai d'abord reconnu ce fait digne d'intérêt, que la règle du trapèze est exacte, c'est-à-dire conforme aux principes de la théorie mathématique de l'élasticité, pour la digue à section triangulaire, c'est-à-dire à parements plans et épaisseur en couronne nulle. Mais elle ne l'est pas pour les digues à section trapèze, et encore moins pour les digues habituelles à parements non plans. Cependant son exactitude dans la digue triangulaire, outre qu'elle ajoute un nouvel intérêt à cette forme théorique, donne aussi la présomption qu'elle ne doit pas être très fautive pour des formes usuelles plus ou moins avoisinantes.

N° 41

ÉTUDE

D'UNE NOUVELLE FORMULE

POUR

CALCULER LE DÉBIT DES CANAUX DÉCOUVERTS

Par M. H. BAZIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Depuis que les premiers travaux de M. Darcy ont mis en lumière l'influence exercée sur le débit d'un canal par l'état de ses parois, le nombre des données expérimentales, jusqu'alors très restreint, s'est singulièrement accru ; de nombreuses formules ont été proposées en vue de représenter l'ensemble de ces nouveaux résultats. Aucune n'a paru pleinement satisfaisante, et il ne pouvait guère en être autrement ; par suite des mouvements tourbillonnaires qu'elles produisent, les irrégularités de la paroi deviennent, dans les canaux de faible dimension, un élément capital ; mais cet élément n'est pas susceptible d'une définition assez exacte pour qu'une expression analytique en tienne parfaitement compte. Si l'on se place au point de vue pratique, il faut donc, sans prétendre à une précision qui n'est pas dans la nature des choses, se contenter de formules empiriques aussi simples que possible ; sans doute, on peut toujours, en compliquant leur expression, arriver à représenter un peu plus exactement un choix donné d'expériences ; mais cette précision apparente ne se maintient pas, si l'on veut

embrasser d'autres cas, et ne peut dès lors servir de criterium pour l'adoption d'un type d'application courante. D'ailleurs, quelle que soit l'expression adoptée, le praticien aura toujours à déterminer, par voie d'assimilation avec des cas analogues, la valeur d'un coefficient arbitraire correspondant à l'état plus ou moins rugueux de la paroi. Cette difficulté d'appréciation ne peut être éludée, et c'est alors que doit intervenir l'expérience personnelle du constructeur.

Ainsi que nous l'avons montré dans une étude antérieure (*), les formules monomes, telles que $R^m I^n = bU^p$ (R désignant le rayon moyen ; I, la pente ; U, la vitesse moyenne ; b, un coefficient numérique ; m, n, p, des exposants constants), ne sauraient, en raison de leur excès de simplicité, être employées d'une manière générale ; elles n'embrassent qu'un champ restreint et divergent dès qu'on les applique en dehors de certaines limites des variables R et U ; toutefois elles peuvent être utiles pour l'étude de quelques cas spéciaux.

La formule la plus simple, après l'expression monome, est :

$$A = \alpha + \frac{\beta}{R}, \qquad (1)$$

A désignant pour abréger le rapport $\frac{RI}{U^2}$, α et β deux constantes ; c'est celle qu'avait adoptée M. Darcy à la suite de ses expériences de 1850 sur les tuyaux de conduite ; elle convient pour les tuyaux, en raison de la constance du profil transversal, toujours circulaire, et de la petitesse relative du coefficient β ; elle s'applique moins bien aux canaux découverts, où la diversité des profils et des natures de parois fait varier α et β dans des limites

(*) *Étude comparative des formules nouvellement proposées pour calculer le débit des canaux découverts* (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1871).

beaucoup plus étendues. Nous l'avions cependant conservée en discutant les expériences entreprises ultérieurement par M. Darcy et terminées par nous-même, sur les canaux découverts, et nous avions admis quatre catégories de parois, en attribuant à α et β, dans chaque cas, des valeurs particulières.

On ne pouvait se dissimuler, toutefois, que cette forme donne lieu à une double objection ; elle ne prévoit aucune relation entre α et β, ce dernier coefficient croissant très rapidement avec la rugosité de la paroi ; d'un autre côté, si l'on suppose le rayon moyen R indéfiniment croissant, la limite vers laquelle tend le rapport A serait différente pour chaque espèce de parois. Il semblerait, au contraire, qu'en augmentant les dimensions d'un canal, ses parois restant identiques à elles-mêmes, leurs inégalités devraient s'effacer peu à peu devant les dimensions croissantes du lit, et que, par suite, les valeurs de A pour toutes les catégories devraient se rapprocher progressivement en convergeant vers une limite commune.

Si l'on conserve à l'équation (1) la forme ci-dessus, on ne réussit pas à trouver entre α et β une relation simple; on y parvient plus facilement en remplaçant A et R par leurs racines carrées, qui varient moins rapidement, et posant :

$$\sqrt{A} = \alpha + \frac{\beta}{\sqrt{R}}. \tag{2}$$

On peut alors obtenir une approximation suffisante, en admettant que α reste constant, de sorte que les valeurs de A pour les divers états de la paroi convergent toutes vers la limite α ; le coefficient β, variant seul, devient ainsi caractéristique du degré de rugosité de la paroi.

En 1869, MM. Ganguillet et Kutter étaient partis de

l'équation (2) en l'écrivant sous la forme équivalente :

$$U = a\left[1 - \frac{b}{b + \sqrt{R}}\right]\sqrt{RI};$$

admettant ensuite pour a la valeur constante $a = 100$, ils avaient proposé d'attribuer à b douze valeurs différentes croissant de 0,12 à 2,44 ; mais ils ont ensuite dénaturé cette expression si simple en faisant dépendre ses coefficients de la pente I, et cela dans le but d'embrasser quelques résultats exceptionnels des expériences de MM. Humphreys et Abbot sur le Mississipi. Leur formule définitive, dont l'usage s'est répandu malgré sa complication, est en mesures métriques (*) :

$$(3) \qquad U = \frac{23 + \frac{0,00155}{I} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}\sqrt{RI},$$

n étant le coefficient de rugosité. En posant :

$$23 + \frac{0,00155}{I} = K,$$

elle peut, par une transformation facile, s'écrire :

$$(4) \qquad \frac{\sqrt{A}}{n} - 1 = \frac{Kn}{1 + Kn}\left(\frac{1}{\sqrt{R}} - 1\right);$$

et, sous cette forme, on voit que $\sqrt{A}$ devient égal à n et indépendant de la pente, quand $R = 1$ mètre. Le facteur entre parenthèses changeant de signe suivant que R est inférieur ou supérieur à 1 mètre, l'influence de la pente sur la valeur de $\sqrt{A}$ change en

(*) Voir *Zeitschrift der öster. Ingen. und Architekten Vereins*, 1869, et *Allgemeine Bauzeitung*, 1870.

même temps de sens de part et d'autre de cette limite arbitraire ; elle n'est, du reste, appréciable que pour les pentes excessivement faibles ; dès que I surpasse $\frac{1}{1000}$, le terme $\frac{0,00155}{I}$ n'a plus d'effet sensible sur la valeur de $\frac{Kn}{1+Kn}$, qui diffère à peine de sa limite : $\frac{23n}{1+23n}$.

Revenons aux formules (1) et (2) ; en admettant la première, nous avions, au début (*), distingué quatre catégories de parois, savoir :

1re Catégorie : parois très unies..... $A = 0,00015\left(1+\frac{0,03}{R}\right)$;

2e Catégorie : parois unies......... $A = 0,00019\left(1+\frac{0,07}{R}\right)$;

3e Catégorie : parois peu unies..... $A = 0,00024\left(1+\frac{0,25}{R}\right)$;

4e Catégorie : parois en terre....... $A = 0,00028\left(1+\frac{1,25}{R}\right)$.

Si l'on admet la deuxième formule, on est conduit, ainsi que nous allons le montrer, à donner à α la valeur constante 0,0115, en faisant croître β avec le degré de rugosité de la paroi depuis 0,0007, pour les parois très unies. jusqu'à 0,0150, pour les parois en terre. Les valeurs de n correspondantes dans la formule Ganguillet et Kutter varieraient entre $n = 0,010$ et $n = 0,025$.

La comparaison des diverses formules avec les données expérimentales peut se faire très commodément à l'aide d'une représentation graphique (Voir Pl. 29). Si nous prenons pour ordonnées y les valeurs de $\sqrt{A}$, et pour abscisses x celles de $\frac{1}{\sqrt{R}}$, les nouvelles formules dérivant

(*) *Recherches hydrauliques*, Darcy-Bazin, 1865.

de l'expression (2) s'écriront :

$$y = 0{,}0115 + \beta x, \tag{5}$$

ou mieux, en désignant par γ le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$:

$$y = 0{,}0115\,(1 + \gamma x),$$

elles seront figurées par un faisceau de lignes droites émanant toutes d'un point ($x = 0$; $y = 0{,}0115$) situé sur l'axe des ordonnées ; l'inclinaison de ces droites, mesurée par le coefficient angulaire $0{,}0115\gamma$, ira en croissant avec la rugosité de la paroi. La formule Kutter s'écrira de même :

$$y = n + \frac{Kn^2}{1 + Kn}\,(x - 1). \tag{6}$$

Au lieu d'un faisceau unique, elle donnera pour chaque valeur de n un faisceau spécial, partant d'un point variable ($x = 1$; $y = n$) ; ce faisceau sera compris entre les deux droites correspondantes aux deux valeurs extrêmes de I (I $= \infty$; I $= 0$), et ayant pour coefficients angulaires, la première $\frac{23\,n^2}{1 + 23n}$, la deuxième n ; cette dernière passerait par l'origine. L'inclinaison de toutes ces droites, dépendant du terme $\frac{0{,}00155}{\mathrm{I}}$, croît à mesure que I diminue. Afin de ne pas compliquer la figure, nous n'y avons indiqué que les droites correspondant aux valeurs I $= 0{,}001$ et $0{,}0001$, sauf pour la quatrième catégorie, où a été ajoutée la très petite pente I $= 0{,}00004$ (*). Les données expérimentales seront, d'autre part, représentées par autant de points, ayant chacun pour coordonnées les

---

(*) Les droites qui correspondraient aux pentes supérieures à $\frac{1}{1000}$ se confondraient presque entièrement ; en effet les limites extrêmes

valeurs de $\sqrt{A}$ et $\frac{1}{\sqrt{R}}$ correspondant à l'expérience considérée ; toutefois elles sont tellement nombreuses que la figure deviendrait très confuse, si on les y indiquait toutes; quelques-unes ont dû être réunies par groupes, en rapprochant les expériences dont les éléments différaient peu, et ne sont représentées que par un seul point correspondant à la moyenne du groupe.

Nous allons énumérer toutes ces données par catégories, en faisant connaître les circonstances particulières qui caractérisent chacune d'elles et peuvent servir de base à un classement rationnel. Nous indiquerons en outre, autant que possible, les procédés d'expérimentation employés pour la détermination de la vitesse moyenne, la connaissance de ces procédés, très divers, permettant seule de juger du degré d'exactitude des expériences et, par suite, de leur valeur comparative.

($I = \infty$) du coefficient angulaire $\frac{Kn^2}{1 + Kn}$ sont 0,00187 pour $n = 0,010$ et 0,00913 pour $n = 0,025$; les valeurs correspondant à la pente $I = \frac{1}{1000}$, savoir 0,00197 et 0,00951, en diffèrent à peine.

1re Catégorie. — *Parois très unies* (ciment lissé, bois raboté, etc.).

Valeur du coefficient γ de la nouvelle formule $\gamma = 0,06$.

...SIGNATION des ...PÉRIENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVATIONS
...al rectangulaire en ...ment de 1m,80 de ...rgeur.	12	0,0049	0m,05 à 0m,21	Enduit en ciment lissé.	Orifices carrés de 0m,20 de côté en mince paroi, préalablement tarés.	Voir *Recherches hydrauliques*, Darcy-Bazin (1865), série n° 2.
...al demi-circulaire ...ment de 1m,25 ...diametre.	12	0,0015	0m,11 à 0m,32	Id.	Id.	Id. Série n° 24
...-aqueduc de Ro-...avour (canal de ...seille.. Section à ...prés rectangu-...s de 2m,10 de ...rgeur au fond.	1	0,0037	0m,46	Enduit en ciment sur le fond de la cuvette, murs latéraux en briques.	Tube jaugeur.	Expér. de M. Baumgarten (1855). Voir *Recherches hydrauliques*, série n° 1.
...educ du Serino ...le de Naples). ...vette elliptique de ...64 de largeur et ...35 de profondeur, ...curnée tangen-...ellement avec les ...és verticaux.	1	0,0005	0m,43	Enduit en ciment lissé.	Moulinet.	Expér. de M. Perrone (1896). Voir le mémoire de M. Zoppi : *Sul Volturno*, carte hydrographique d'Italie (1896).
...al Cavour (pont-...al du Cervo). ...ction rectangulaire ...20 mètres de lar-...r.	3	0,00011	1m,56 à 2m,20	Fond de la cuvette en béton fortement battu, très uni et régulier. Murs latéraux en briques.	Moulinet.	Expér. de MM. Pasini et Gioppi (1892). Voir *Giornale del Genio civile*, Roma, 1893.
...-aqueduc de la ...ière Charles (ville ...Boston). Section ...différente, d'un ...angle de 2m,74 ...argeur maximum. ...ir au tableau sui-...nt le profil de ...queduc.)	3	0,00016	0m,57 à 0m,64	Enduit en ciment de Portland sur maçonnerie de briques.	Déversoir préalablement taré pour les expériences nos 1 et 2 (1880). Moulinet pour l'expérience n° 3 (1878).	Expér. de MM. Fteley et Stearns (1878-1880). Voir *additionnal Supply from Sudbury River*, Boston (1882) ; voir aussi, pour le détail des expériences, l'ouvrage de M. Hamilton Smith : *On the Flow of Water through orifices*, etc., London and New-York (1886).
...yau en ciment de ...80 de diamètre.	10	Pentes diverses de 0,0006 à 0,0033	0m,20	Enduit en ciment très uni.	Tube jaugeur.	Tuyau d'expérience établi en vue d'étudier la distribution des vitesses. *Rec. des Savants*, t. XXXII, 1897. Mémoire de M. Bazin.

On voit immédiatement, sur la planche, que la droite correspondante à la nouvelle formule passe à peu près au centre de la zone occupée par les points figurant les résultats de l'expérience; cette formule représente très bien, d'une part, les expériences sur le canal rectangulaire (série n° 2), dans lesquelles R ne dépassait pas $0^m,20$, et, d'autre part, celles du canal Cavour, où R s'élève jusqu'à $2^m,20$. Les différences, peu importantes, que l'on constate pour les expériences intermédiaires s'expliquent aisément si l'on se reporte aux indications données sur l'état des parois.

1° *Canal demi-circulaire* (série n° 24). — L'abaissement sensible des ordonnées $\sqrt{A}$ pour les dernières expériences de la série résulte de la forme circulaire du canal, à laquelle correspond le maximum de débit pour une section donnée. Il faut, en effet, avoir égard à cette propriété, lorsque l'on rencontre ce profil exceptionnellement favorable à l'écoulement; elle explique également la faible valeur du coefficient $\sqrt{A}$ pour l'aqueduc de Naples, dont la cuvette présente un profil elliptique.

2° Le pont-aqueduc de Roquefavour donne, au contraire, une valeur plus élevée, en raison de cette circonstance, que le fond seul de la cuvette est enduit en ciment, les parois latérales en briques offrant une plus grande résistance. On se trouve ainsi en présence d'une paroi mixte, intermédiaire entre la première et la deuxième catégorie (*).

3° C'est pour un motif analogue que nous n'avons pas

(*) Le pont-aqueduc du Cervo (canal Cavour) se trouve à peu près dans les mêmes conditions, et cependant les valeurs de A paraissent un peu faibles; il n'est pas impossible que la valeur 0,00011 adoptée pour la pente doive être légèrement augmentée, la détermination de cette pente, moyenne de plusieurs opérations sur 120 mètres seulement de longueur, ne pouvant être d'une exactitude rigoureuse, ainsi que le font remarquer MM. Pasini et Gioppi dans leur intéressant mémoire de 1893.

fait figurer une série d'expériences sur un autre canal demi-circulaire (n° 25), semblable à celui qui avait fait l'objet de la série n° 24, si ce n'est que le ciment avait été mélangé d'un tiers de sable siliceux très fin; cette modification a suffi, bien que la surface du canal fût restée parfaitement régulière, pour élever de près d'un dixième la valeur de $\sqrt{A}$.

Passons maintenant à la 2e catégorie de parois; les données sont fort nombreuses, en raison de la facilité que présente le bois pour l'établissement des canaux d'expérience.

2[e] CATÉGORIE. — *Parois unies* (planches, pierre de taille, briques, etc.

Valeur du coefficient γ de la nouvelle formule $\gamma = 0,16$.

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVAT
Canaux rectangulaires de 2 mètres de largeur.	60	0,0015 à 0,0084	0^m,04 à 0^m,42	Planches non rabotées.	Orifices carrés de 0^m,20 de côté, préalablement tarés.	Voir *Recherch* *drauliques*, n°s 6 à 11.
Canaux rectangulaires de 1^m,20, 0^m,80 et 0^m,48 de largeur.	32	0,0043 à 0,0060	0^m,06 à 0^m,26	Id.	Id.	Voir *Rech.* séries n°s 18
Canaux à profil trapézoïdal (largeur du fond 1 mètre) et triangulaire.	36	0,0015 à 0,0049	0^m,08 à 0^m,33	Id.	Id.	Voir *Rech.* séries n°s 21
Canal demi-circulaire de 1^m,40 de diamètre.	13	0,0015	0^m,12 à 0^m,35	Id.	Id.	Voir *Rech.* série n° 26.
Canal rectangulaire de 1^m,90 de largeur.	12	0,0049	0^m,06 à 0^m,24	Briques à plat, assez dégradées.	Id.	Voir *Rech.* série n° 3.
Rigole murée du Tillot (canal de Bourgogne). Section à peu près rectangulaire de 1^m,20 de largeur.	4	0,0081	0^m,12 à 0^m,23	Moellon piqué avec soin.	Tube jaugeur.	Voir *Rech.* série n° 39.
Pont-aqueduc de Crau (canal de Craponne). Section rectangulaire de 2^m,60 de largeur.	1	0,00084	0^m,54	Pierre de taille.	Id.	Expér. de M. garten en 185 *Rech. hydr.*, n° 1.
Aqueduc de la ville de Boston, voûté en plein cintre de 2^m,74 de diamètre sur piédroits légèrement courbes de 0^m,76 de hauteur. Radier en arc de cercle avec flèche de $\frac{1}{12}$.	65	0,00019	0^m,15 à 0^m,71	Briques.	Déversoir préalablement taré.	Expér. de MM. et Stearns (187 pour le résumé *ditionnal Su* *from Sudbur* *ver*, Boston, et *Transactio* *the America* *ciety of civil* *neers*, 1883. pour le détail vrage de Ha Smith, cité plu
Aqueduc de la ville de New-York, même type que celui de Boston. Diamètre de la voûte, 4^m,15 ; hauteur des piédroits, 1^m,62. Radier en arc de cercle avec flèche de $\frac{1}{12}$.	17	0,00013	0^m,23 à 1^m,17	Briques.	Moulinet.	Expér. de M. F voir *Report t* *New Croton* *duct-commissi* New-York, 18

…NATION des …ENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVATIONS
…de la ville de … Section … rectangu- …uverte par … en arc de …uteur des … 1m.68 ; lar- … naissance …ile, 3m,05 ; … au niveau …r. 2m,77. … en arc de … avec flèche	18	0,000182	0m,37 à 0m,55	Béton uni.	Déversoir.	Expér. de M. Fairlie Bruce. Voir *Proceedings of the institution of civil Engineers*, London, 1896.
…lecteur de … Siphon de …-Bay. Sec- …ulaire de … diamètre.	3	0,00051 à 0,00058	0m,572	Briques.	Jaugeage direct dans un réservoir.	Expér. de M. Clarke en 1885. Voir l'ouvrage de M. Hamilton Smith.

Les expériences sur les canaux en planches sont extrêmement nombreuses, et quelques-unes font même double emploi; aussi, pour éviter la confusion, n'en avons-nous fait figurer qu'une partie sur la planche. Il convient de remarquer en passant que les coefficients obtenus pour la rigole demi-circulaire (série n° 26) sont exceptionnellement faibles, ainsi que nous l'avons déjà signalé pour la rigole demi-circulaire en ciment.

Les expériences les plus importantes du groupe, pour les parois maçonnées, sont celles de M. Fteley sur les aqueducs de Boston et New-York. Ces deux ouvrages, dont le profil est, aux dimensions près, absolument comparable, ont leur parement en briques jointoyées; les conditions de l'écoulement semblent donc tout à fait identiques, et cependant les coefficients, obtenus à l'aide d'expériences très précises, diffèrent de 6 0/0. Cette différence résulte de détails d'exécution peu importants en apparence. Le rejointement avait été extrêmement soigné dans l'aqueduc

de Boston; il en a été de même pour le radier dans celui de New-York, mais les piédroits ont été un peu moins bien traités; quant à la voûte, les bavures du mortier sur le cintre n'ont pas été parfaitement enlevées, ce qui donne lieu à quelques aspérités sur le parement. Ces remarques, que nous devons à l'obligeance de M. Fteley, montrent combien l'état des parements peut influer sur l'écoulement; un simple lavage à la brosse avec un lait de ciment Portland sur une partie de l'aqueduc de Boston a suffi pour produire une augmentation de débit de 2 0/0.

Considérons maintenant les parements en maçonnerie de moellons; le nombre des données recueillies jusqu'à ce jour pour cette nature de parois est malheureusement très restreint, ainsi que le montre le tableau ci-après.

3ᵉ CATÉGORIE. — *Parois en maçonnerie de moellons.*

Valeur du coefficient γ de la nouvelle formule $\gamma = 0{,}46$.

…ATION …s …nces	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVATIONS
… décharge …oir de Gros… …al de Bour… Section à … rectangu… … 1ᵐ,80 de	8	0,037 et 0,101	0ᵐ,10 à 0ᵐ,26	Moellons piqués, fond recouvert d'un léger dépôt limoneux très adhérent.	Orifices carrés en mince paroi de 0ᵐ,50 de côté.	Voir *Recherches hydrauliques*, séries nᵒˢ 32 et 33.
… de Soussey … Grosbois. … peu près …aire de … largeur.	4	0,00030 à 0,00035	0ᵐ,30 à 0ᵐ,49	Parement de moellons en bon état, peu de dépôts sur le radier.	Moulinet.	Voir *Rech. hydr.*, série nᵒ 45.
…ées de la … Grosbois … et en aval …rain de … Même sec…	8	0,00030 à 0,00068	0ᵐ,27 à 0ᵐ,52	Parement de moellons, quelques joints dégradés, radier couvert de vase et de pierrailles en divers points.	Moulinet et déversoir taré. Voir la note C de l'appendice des *Recherches hydrauliques*.	Voir *Rech. hydr.*, séries nᵒˢ 44 et 46.
… Marseille. … de Long… Section à … rectangu… 1 mètre de	4	0,012 à 0,060	0ᵐ,19 à 0ᵐ,27	Parement en moellons.	Moulinet et tube jaugeur.	Expér. de M. Baumgarten en 1855. Voir *Rech. hydr.*, série nᵒ 1.
…ustriel de …ection tra… … de 6 mè… …rgeur au …ins à 45°	1	0,00031	1ᵐ,56	Maçonnerie de béton.	Moulinet.	Jaugeage fait par une commission d'Ingénieurs italiens (1896).
…iphon de …anal Ca…avrage, de … longueur … fermé de …ovales en présentant … section … de 11ᵐᵐ,08.	9	pentes diverses de 0,00007 à 0,00073	0ᵐ,848	Parement en briques.	Moulinet.	Expér. de MM. Pasini et Gioppi. Voir *Giornale del Genio civile*, Roma, 1893.

Les expériences les plus régulières sont celles de la rigole de décharge du réservoir de Grosbois et celles qui ont été faites dans le long souterrain de Soussey; mais les deux parties murées en amont et en aval du

souterrain (séries n° 44 et 46) ne pouvaient fournir des résultats parfaitement comparables; la présence de dépôts de vase et de pierrailles sur le radier en faisait, en réalité, des parois de nature mixte, se rapprochant des parois en terre, lorsque la profondeur d'eau était peu considérable; aussi est-ce seulement pour les plus grands débits, c'est-à-dire pour les dernières expériences de chacune des deux séries, où R dépasse $0^m,45$, que les résultats concordent suffisamment avec ceux des séries n°s 32, 33 et 45.

Quant aux expériences sur le canal de Marseille (dérivation de Longchamp), où la pente était trop considérable pour admettre la présence de dépôts, elles présentent, malgré l'égalité du débit qui était le même pour toutes, des divergences assez sensibles, et il est vraisemblable que l'état des parois n'était pas absolument comparable. Les résultats obtenus par les ingénieurs italiens sur le canal de Vérone, où R atteignait $1^m,56$, concordent bien, au contraire, avec ceux des rigoles de Grosbois.

La valeur de $\sqrt{A}$ obtenue pour le siphon de l'Elvo conduit à le ranger dans la 3e catégorie, bien que son parement en briques soit probablement plus régulier qu'un parement de moellons. Les conditions spéciales de cet ouvrage rendent assez difficile la détermination exacte du coefficient, qui a été déduit de la dénivellation observée entre les deux têtes; mais cette dénivellation, pour représenter la charge consommée par le frottement, doit être corrigée de la contraction à l'entrée. MM. Pasini et Gioppi ont opéré cette correction à l'aide d'une expérience sur un autre aqueduc-siphon de faible longueur; en raison de la forme assez compliquée de l'ouvrage, il subsiste nécessairement quelque incertitude sur la valeur de I dans le parcours du siphon.

On voit que l'on manque réellement de données pra-

tiques suffisantes sur la valeur des coefficients applicables aux canaux en maçonnerie de moellons. Des expériences dirigées dans ce sens seraient désirables; il faudrait définir avec quelque précision les modes de taillage des parements, le plus ou moins de fini du taillage pouvant, surtout dans les canaux de petites dimensions, influer notablement sur le débit.

Les expériences sur les canaux en terre (4e catégorie), que nous allons énumérer maintenant, sont nombreuses, mais bien peu présentent des garanties de parfaite exactitude.

4ᵉ Catégorie. — *Canaux en terre.*

Valeur du coefficient γ de la nouvelle formule $\gamma = 1{,}30$.

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVAT[IONS]
			1° Rayons moyens inférieurs à 1 mètre.			
Rigole de Chazilly (canal de Bourgogne). Largeur au fond, 1ᵐ,20 à 1ᵐ,35.	8	0,00045 à 0,00085	0ᵐ,29 à 0ᵐ,52	Terrain un peu pierreux, très peu d'herbes sur les parois.	Tube jaugeur, moulinet et déversoir taré (voir note C de l'appendice des *Recherches hydrauliques*).	Voir *Recher[ches hy]drauliques*, [sé]ries nᵒˢ 37 et 4[...]
Rigole de Grosbois (canal de Bourgogne). Largeur au fond, 1ᵐ,70 à 2 mètres.	12	0,00030 à 0,00055	0ᵐ,30 à 0ᵐ,56	Fond et talus vaseux, herbes sur quelques points.	Id.	Voir *Rech.* séries nᵒˢ 4[...] 50.
Rigole de Chazilly, partie murée du Roussot (canal de Bourgogne). Largeur au fond, 2ᵐ,15.	4	0,00045 à 0,00052	0ᵐ,30 à 0ᵐ,51	Fond en terre, paroi droite formée par un mur à mortier presque vertical, paroi gauche par un perré à sec ; pas d'herbes.	Id.	Voir *Rech.* série nᵒ 42.
Rigole de décharge du bief nᵒ 52 (canal de Bourgogne). Largeur au fond, 1ᵐ,80).	5	0,0146	0ᵐ,26 à 0ᵐ,52	Fond et talus revêtus d'un perré ancien, recouvert de mousse avec un peu d'herbes.	Vannes de décharge du canal.	Voir *Rec[h.]* série nᵒ [...]
Canal de Marseille à Réaltore. Largeur au fond, 3 mètres.	1	0,00043	0ᵐ,87	Fond vaseux, un peu d'herbes.	Tube jaugeur.	Expér. de [...]garten e[...] *Rech.* [...] nᵒ 1.
Canal du Jard. Largeur, 8 à 9 mètres.	4	0,000036 à 0,000065	0ᵐ,51 à 0ᵐ,79	Fond vaseux ; les roseaux avaient été coupés avant les expériences.	Flotteurs de surface.	Expér. de [...] 1782. Voi[r ...] *cipes hy[...]* 1786. Ex[...] 180.
Lauter-Canal, près Neuburg, sur le Rhin. Largeur, environ 3 mètres.	1	0,00066	0ᵐ,55	»	»	Expér. d[...] rapportée[s ...] vrage de [...] nau : *Th[...] Bewegun[g ...] sers*, Mu[...]
Saalach (affluent de la Salzach) (Haute-Bavière). Largeur, 20 à 25 mètres.	2	0,00104 à 0,000114	0ᵐ,42 à 0ᵐ,43	»	Vitesses mesurées à l'aide du Strommesser de Reichenbach.	Expér. des [...] bavarois, [...] portée co[...] cédente [...] vrage de [...] nau.
Aa à Kermatt et à Sarnen.	2	0,0039 et 0,00064	0ᵐ,59 et 1ᵐ,035	Fond de gravier et terre, côtés en maçonnerie.	Moulinet.	Expériences en 1885.
Rhône à la porte de Scex.	1	0,00010	0ᵐ,96	Fond de gravier, talus revêtus de perrés.	Moulinet.	Expériences en 1887.

4[e] CATÉGORIE. — *Canaux en terre* (suite).

…ATION du …ENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVATIONS
…iasco.	1	0,000254	0m,90	Lit assez irrégulier, gravier et quelques galets.	Moulinet.	Expériences d'Epper, en 1888.
			2° Rayons moyens supérieurs à 1 mètre.			
… Hayne. … environ	4	0,00003 à 0,00016	1m,47 à 1m,78		Flotteur de surface	Expériences de Dubuat en 1782. Voir ses *Principes d'hydraulique*, 1786. Expér. nos 181 à 184.
…Paris.	8	0,00010 à 0,00017	2m,88 à 5m,60	»	Id.	Expér. faites en 1851 et 1852 entre le pont des Invalides et le pont d'Iéna, sous la direction de M. Poirée. Voir *Recherches hydrauliques*, appendice.
…oissy.	5	0,00005 à 0,000075	4m,14 à 5m,44	»	Id.	Expér. faites en 1852 et 1853, sous la direction de M. Emmery Voir *Rech. hydr.*, appendice.
…Meulan.	2	0,00009	2m,16 à 2m,34	»	Id.	Id.
…Sud.	2	0,00006	3m,43 à 3m,79	»	Moulinet.	Id.
… Raconnay …mètres en …Chalon).	7	0,00004	2m,72 à 4m,82	»	Id.	Expér. faites en 1858 et 1859, sous la direction de M. Léveillé. Voir *Rech. hydr.*, appendice.
… environs …	31	0,00019 à 0,00055	1m,37 à 4m,31	»	Id.	Expériences exécutées par le conducteur Schwartz, sous la direction de Funk, de 1803 à 1806. Voir l'ouvrage de Funk : *Beitrage zur allgemeinen Wasserbaukunst*, Lemgo, 1808.
…dre.	1	0,00011	2m,96	»	Id.	Expér. de Strauss, rapportée par M. Grebenau : *Theorie der Bewegung des Wassers*, Munich, 1867.
…Rhin, en	16	0,00011 à 0,00022	2m,21 à 5m,18	»	Tachomètre de Brünings.	Expér. de Brünings (1790-92). Reproduites dans l'ouvrage de Funk : *Versuch einer Darstellung der wichtigsten Lehren der Hydrotechnik*, Berlin, 1820.

4e Catégorie. — *Canaux en terre* (suite).

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSER[VATIONS]
Bras du Rhin, en Hollande.	5	0,00010 à 0,00012	1m,80 à 5 mètres	»	Flotteurs verticaux	Expér. de en 1812 *ling* ... *phische phische gen*, 1813. égalem... vrage d...
Salzach (affluent de l'Inn), entre Laufen et Wildshut.	1	0,00036	2m,14	»	Moulinet.	Expér. de bavaroi... rapport... benan... vrage in... sus.
Linthcanal (Suisse).	10	0,00029 à 0,00037	1m,57 à 2m,80	»	Flotteurs verticaux	Expér. de portée p... Voir l... Legler: *nische gen*, Gl...
Rhin, à Germersheim.	1	0,00025	3m,31	»	Moulinet.	Expér. de 1866.
Canal Cavour. Largeur au plafond, 20 mètres. Talus à 45°.	6	0,00029 à 0,00033	1m,45 à 2m,23	»	Id.	Expér. de et Giopp... *Giornal civile*, 1...
Pô à Fossa-d'Albero et à Porto-Morone.	9	0,00009 à 0,000165	2m,61 à 4m,30	»	Moulinet et flotteurs verticaux.	Expér. en une com... génieurs *Giornal civile*, 1...
Tibre à Rome.	1	0,00008	4m,96	»	Moulinet.	Jaugeage 1881 pa... Ingénieu... Voir l'... M. Naz... *di velo... vere*, 18...
Canal du Gange à Solani. Largeur au fond, 45 mètres.	12	0,00009 à 0,00022	0m,51 à 2m,85	Fond en terre, talus revêtus en escalier dégradés et affaissés en divers points.	Flotteurs verticaux	Voir *Ro... draulic... ments*, b... Canning... kee, 188...
Canal du Gange à Jaoli, Belra et Kamehera.	15	0,00014 à 0,00031	1m,24 à 2m,75	Section complètement en terre.	Id.	
Elbe à Tetschen.	3	0,00037 à 0,00041	1m,07 à 2m,37	»	Moulinet.	Expér. d... cher, 1...
Missouri à Saint-Charles.	38	0,00011 à 0,00026	1m,72 à 5m,40	»	Doubles flotteurs.	Expér. ... ter, 1... tées p... wine e... suite d... tion d... MM. ... Kutter...
Rhin à Flurlingen et à Nohl en amont et en aval de la chute.	2	0,00016	2m,05 à 2m,13	»	Moulinet.	Expérie... 1887.

(1) Nous devons la communication de ces données et de quelques autres expériences récem[ment faites] en Italie à l'obligeance de M. Gaudenzio Fantoli, ingénieur à Milan.

Les 24 expériences sur les rigoles de Chazilly et Grosbois, qui figurent en tête du tableau, constituent la majeure partie des données dont nous disposons pour les petits canaux en terre ; afin d'obtenir des résultats essentiellement pratiques, on a opéré sur ces rigoles en les laissant dans leur état normal, qui était celui d'un bon entretien, sans les modifier par une régularisation préalable, dont l'effet passager aurait altéré la valeur des résultats. Ces expériences s'appliquent ainsi à des sections en terre dans des conditions ordinaires; les parois gazonnées ou rocheuses doivent être considérées à part et seront mentionnées plus loin.

Nous avons compris dans cette première partie du tableau 5 expériences sur un canal de décharge à forte pente, dont la surface, recouverte d'un perré tapissé de mousse, présentait une résistance à l'écoulement peu différente de celle des parois en terre. Nous y avons joint une expérience de M. Baumgarten sur le canal de Marseille, les 4 expériences souvent citées de Dubuat sur le canal du Jard (*), et enfin deux expériences sur de petits cours d'eau de l'Allemagne du Sud, empruntées à l'ouvrage de M. Grebenau.

On voit combien les données sont rares pour les canaux en terre de faible dimension ; pour les rivières elles sont, au contraire, fort nombreuses ; malheureusement beaucoup d'entre elles laissent bien à désirer au point de vue de l'exactitude, ainsi que l'on peut s'y attendre. La détermination des deux éléments principaux, vitesse moyenne et pente superficielle, offre des difficultés qui vont rapidement en croissant avec l'importance du cours d'eau. En ce qui concerne la vitesse moyenne, le seul procédé

(*) Dubuat n'avait mesuré que la vitesse V à la surface ; nous avons admis pour la vitesse moyenne U la valeur $U = V - 14\sqrt{RI}$; et de même pour les expériences sur la rivière de Hayne, indiquées dans la deuxième partie du tableau.

à l'abri de toute objection consisterait à mesurer, à l'aide du moulinet ou de tout autre instrument analogue, les vitesses locales en un grand nombre de points de la section ; mais c'est là une opération très laborieuse, qui n'est même pas toujours sans danger. Les procédés plus expéditifs sont fondés sur l'emploi des flotteurs (flotteurs de surface, flotteurs doubles reliés par un cordeau, flotteurs verticaux ou bâtons lestés par un bout). Si l'on se contente de mesurer la vitesse superficielle, le coefficient par lequel on doit la multiplier pour en déduire la vitesse moyenne n'est pas bien déterminé. L'emploi des doubles flotteurs conduit, ainsi que nous l'avons montré dans une étude spéciale (*), à une valeur exagérée de la vitesse moyenne ; l'erreur résulte de ce que la surface présentée au courant par le cordeau, qui relie le flotteur de surface au flotteur de fond, n'est pas négligeable devant celle de ce dernier, et aussi de ce que le flotteur de fond, dans les courants rapides, ne reste pas à la profondeur à laquelle on le croit immergé. Il en est à peu près de même pour les bâtons lestés, qui ne se maintiennent pas verticaux, dès que la vitesse est un peu considérable.

La mesure de la pente est extrêmement délicate sur les grands fleuves, où elle se réduit à quelques centimètres par kilomètre; de plus, il est rarement possible de trouver une section suffisamment longue, où le régime soit à peu près uniforme ; le lit présente ordinairement, en plan de nombreux coudes, en profil longitudinal des hauts-fonds séparés par des parties profondes, et la pente, obtenue par le nivellement direct, devrait, le plus souvent, pour tenir compte de ces accidents du lit, subir une correction difficile à évaluer ; enfin, si l'on opère en hautes eaux,

(*) *Notice sur l'emploi des doubles flotteurs pour la mesure des vitesses dans les grands cours d'eau* (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1884).

cette même pente, variable suivant que le fleuve est en crue ou en décrue, peut se modifier notablement pendant la durée même de l'expérience.

Le tableau précédent ne comprend que des expériences, où le rayon moyen R dépassait rarement 5 mètres. Il faut y joindre celles qui ont été faites sur le Mississipi et l'Irrawaddi dans des sections incomparablement plus grandes ; elles constituent des cas extrêmes, où les difficultés d'expérimentation étaient portées au maximum, et leurs résultats, qui ne concordent pas entre eux, doivent être examinés à part avec quelque détail.

EMPLACEMENT des EXPÉRIENCES	NUMEROS des EXPÉRIENCES	RAYON MOYEN R	PENTE par KILOMÈTRE 1000 I	VITESSE MOYENNE U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	OBSERVATIONS
Expériences de MM. Humphreys et Abbot en 1851 (1).						
		m	m	m		
Carrollton	1	22,41	0,0034	1,23	0,0071	Pentes extrêmement faibles et difficiles à mesurer avec exactitude; la dénivellation totale observée pour les deux premières expériences n'est que de 1 centimètre sur une longueur d'environ 3 kilomètres.
	2	22,67	0,0038	1,21	0,0077	
	3	21,95	0,0205	1,81	0,0117	
	4	22,09	0,0171	1,79	0,0108	
Colombus	1	20,08	0,0680	2,12	0,0174	Emplacement défavorable en raison du changement rapide de la section et de la présence d'une île en aval.
Vicksburg	1	9,50	0,0223	1,07	0,0136	Expériences exécutées dans un emplacement favorable et considérées comme les meilleures par MM. Humphreys et Abbot.
	2	15,89	0,0303	1,69	0,0130	
	3	17,48	0,0481	1,93	0,0151	
	4	19,67	0,0436	2,08	0,0141	
	5	19,54	0,0638	2,12	0,0167	
Expériences de la Commission du Mississipi en 1881-82 (2).						
					Valeurs moy.	
Carrollton	1 à 7	17,56 à 18,50	0,0097 à 0,0112	0,90 à 1,23	0,0127	Pentes extrêmement faibles, qui n'ont pas été mesurées au moment même des jaugeages.
	8 à 14	17,43 à 20,00	0,0127 à 0,0143	1,19 à 1,62	0,0114	Emplacement peu favorable, par suite de la présence d'un coude brusque du fleuve au milieu de la longueur totale.
	15 et 16	19,08 à 19,23	0,0165	1,60 à 1,80	0,0105	
Fulton	1 à 3	9,02 à 9,27	0,0144 à 0,0191	0,67 à 0,72	0,0179	Emplacement assez favorable de 3 kilomètres environ de longueur.
	4	10,03	0,0209	0,86	0,0168	
	5 à 7	11,98 à 12,53	0,0476 à 0,0513	1,23 à 1,37	0,0190	
	8 et 9	16,31 à 16,37	0,0617 à 0,0740	2,28 à 2,36	0,0144	

Toutes ces expériences ont été exécutées à l'aide des doubles flotteurs ; ce procédé conduit, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut (*), à exagérer la valeur des vitesses et, par suite, à diminuer dans le même rapport celle de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$.

Les dénivellations absolues observées à Carollton et à Colombus par MM. Humphreys et Abbot sont tellement faibles que la détermination des pentes est incertaine. Les expériences de Vicksburg, considérées comme meilleures, donnent en moyenne $\frac{\sqrt{RI}}{U} = 0,0145$. Les expériences postérieures de 1881-82 ont donné à Carrollton 0,0119, et à Fulton 0,0174. Ces résultats sont assez divergents.

Lors des premières expériences de MM. Humphreys et Abbot, les valeurs de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$ semblaient aller en croissant assez régulièrement avec la pente; cette circonstance, qui avait servi de point de départ à leur nouvelle formule, ne s'est pas reproduite dans les expériences de 1881-82. Elle ne se retrouve pas non plus dans celles de M. Robert Gordon sur l'Irrawaddi.

M. R. Gordon a employé aussi les doubles flotteurs (**) ; mais ses observations sont beaucoup plus nombreuses et mieux coordonnées que celles des Ingénieurs Américains, et, en raison des dimensions adoptées pour les flotteurs

---

(*) Voir la notice sur *l'Emploi des doubles flotteurs* citée plus haut (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1884) et *Discussion des expériences les plus récentes sur la distribution des vitesses dans un courant* (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1875).

(**) Voir divers mémoires de M. Robert Gordon : *Report on the Irrawaddi River*, Rangoon, 1878 ; *Note on subjects connected with the Works in the Irrawaddi Circle*, 1883 ; *Hydraulic Works in the Irrawaddi Delta* (*Proceedings of the Inst. of. Civ. Eng.*, London, 1893).

et leur cordeau de jonction, les causes d'erreur inhérentes à ce mode de jaugeage avaient moins d'importance; enfin, à la suite d'expériences comparatives faites à l'aide du moulinet, M. R. Gordon a reconnu que les vitesses obtenues à l'aide des doubles flotteurs devaient subir une certaine réduction. Quant aux pentes, dont la détermination est si délicate sur un grand fleuve, elles ont fait l'objet d'une étude approfondie. Ces expériences, régulièrement poursuivies pendant plusieurs années, sont résumées dans le tableau ci-après.

Expériences sur l'Irrawaddi, a Saïktha, en tête du Delta.

HAUTEURS MESURÉES à l'échelle de Saïktha (en pieds)	RAYON MOYEN R	PENTE par KILOMÈTRE 1000 I	VITESSE MOYENNE U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	OBSERVATIONS
	m	m	m		
0	4,96	0,0086	0,341	0.0193	Le tableau ci-contre a été reproduit dans l'appendice de l'ouvrage de MM. Trautwine et Hering (*Flow of Water in Rivers and Other Channels*, 1893, traduction du mémoire de MM. Ganguillet et Kutter), mais en réduisant d'un dixième les valeurs des vitesses observées à l'aide des doubles flotteurs. M. Robert Gordon estime que les pentes sont assez bien déterminées pour les eaux moyennes (hauteurs comprises entre 10 et 30 pieds à l'échelle de Saïktha); en dehors de ces limites, elles varient suivant une loi plus complexe, et les valeurs portées au tableau nécessiteraient peut-être quelques corrections.
2	5,34	0,0129	0,494	0,0168	
4	5,64	0,0172	0,604	0,0163	
6	6,06	0,0215	0,705	0,0162	
8	6,09	0,0258	0,799	0,0157	
10	6,22	0,0301	0,887	0,0154	
12	6,44	0,0344	0,968	0,0154	
14	7,00	0,0387	1,047	0,0157	
16	7,53	0,0430	1,125	0,0160	
18	8,05	0,0474	1,202	0,0163	
20	8,57	0,0517	1,277	0,0165	
22	9,08	0,0560	1,352	0,0167	
24	9,66	0,0603	1,427	0,0169	
26	10,23	0,0646	1,501	0,0171	
28	10,80	0,0689	1,575	0,0173	
30	11,37	0,0732	1,650	0,0175	
32	11,94	0,0775	1,731	0,0176	
34	12,50	0,0818	1,823	0,0176	
36	13,05	0,0861	1,936	0,0173	
38	13,55	0,0904	2,082	0,0168	
40	14,12	0,0947	2,272	0,0161	

La moyenne de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$ pour la période des eaux moyennes, où les pentes sont mieux déterminées (hauteurs à l'échelle comprises entre 10 pieds et 30 pieds), est 0,0164.

Les valeurs de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$, déduites de l'observation des doubles flotteurs, doivent être un peu augmentées. M. Robert Gordon, d'après ses expériences comparatives faites à l'aide du moulinet, évalue cette correction, dont l'importance croît avec la profondeur et la vitesse du courant, à 10 0/0 pour le cas des hautes eaux; elle devient négligeable en basses eaux; on pourrait admettre par suite 5 0/0 pour la période des eaux moyennes; en adoptant 10 0/0 pour les expériences du Mississipi, on aurait comme valeurs rectifiées de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$:

	VALEURS MOYENNES de $\frac{I}{\sqrt{R}}$	VALEURS RECTIFIÉES de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$ (*)	VALEURS DE $\frac{\sqrt{RI}}{U}$ d'après la formule proposée
Mississipi à Vicksburg (1851).	0,25	0,0145 × 1,10 = 0,0160	0,0152
Mississipi à Carrollton (1882).	0,23	0,0119 × 1,10 = 0,0131	0,0149
Mississipi à Fulton (1881)..	0,30	0,0174 × 1,10 = 0,0191	0,0160
Irrawaddi à Saïktha.........	0,34	0,0164 × 1,05 = 0,0172	0,0166

(*) Ces valeurs sont celles qui ont été rapportées graphiquement sur la planche.

On voit que les résultats obtenus par M. Gordon s'écartent peu, en somme, de ceux qui sont depuis longtemps admis pour les fleuves d'Europe. Ceux des expériences sur le Mississipi sont beaucoup plus irréguliers.

Nous avons fait remarquer précédemment que certains canaux en terre offrent une plus grande résistance à l'écoulement par suite de la présence des herbes, de la nature rocheuse du lit, etc. Le tableau ci-dessous comprend les expériences qui rentrent dans cette catégorie, pour laquelle il convient d'élever de 1,30 à 1,75 le coefficient γ de la nouvelle formule.

5e Catégorie. — *Canaux en terre offrant une résistance exceptionnelle.*

Valeur du coefficient γ de la nouvelle formule $\gamma = 1,75$.

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVATIONS
Rigole de Chazilly (canal de Bourgogne). Largeur au fond, $1^m,10$ à $1^m,35$.	8	0,00042 à 0,00068	$0^m,35$ à $0^m,54$	Fond et talus herbés sur beaucoup de points.	Tube jaugeur, moulinet et déversoir taré (voir note C de l'appendice des *Recherches hydrauliques*.	*Recherches hy[illegible] liques*, séries n[illegible] et 43.
Id.	4	0,0009 à 0,001	$0^m,29$ à $0^m,47$	Terrain très pierreux, peu d'herbes.	Id.	*Rech. hydr.*, [illegible] n° 38.
Id.	4	0,00095	$0^m,32$ à $0^m,50$	Terrain rocheux, un des talus revêtus d'enrochements.	Id.	*Rech. hydr.*, [illegible] n° 40.
Canal collecteur du lac Fucino (Italie). Largeur au fond, 15 mètres.	4	0,00014	$0^m,65$ à $0^m,97$	Canal en terre, fond herbé.	Moulinet.	Expér. faite en [illegible] par M. Perr[illegible] moires annexé[illegible] carte hydrog[illegible] que d'Italie, fas[illegible] Liri-Garigliano, [illegible] M. Zoppi, 18[illegible]
Expériences de la Nicca dans les Grisons. Rhin (Domleschgerthal). Largeur, 4 à 8 mètres.	20	0,006 à 0,008	$0^m,08$ à $1^m,04$	Fond couvert de galets.	Flotteurs.	Expér. exécutée[illegible] l'ingénieur la N[illegible] de 1830 à 18[illegible] dant les travau[illegible] correction du [illegible] supérieur dans [illegible] Grisons. Voir [illegible] mémoire : *Die [illegible] ternehmung [illegible] Rheincorrecti[illegible] Domleschg[illegible]* Zürich, 18[illegible]
Rhin (Rheinwald). Largeur, 4 à 5 mètres.	3	0,014	$0^m,13$ à $0^m,37$	Id.	Id.	
Plessur (affluent du Rhin à Coire). Largeur, 12 à 15 mètres.	7	0,010	$0^m,38$ à $1^m,49$	Id.	Id.	
Mœsa (affluent du Tessin). Largeur, 4 à 5 mètres.	3	0,012	$0^m,30$ à $0^m,46$	Id.	Id.	
Petit canal (Marmels). Largeur, 8 mètres.	2	0,0005	$0^m,70$	Fond de sable.	Id.	
Rhin à Bâle.	1	0,0012	$2^m,10$	Fond couvert de gros galets.	Moulinet.	Jaugeage exé[illegible] 1867 par M. G[illegible] nau. Voir *Die [illegible] nationale [illegible] strom-Mess[illegible] Basel*, Munich, [illegible]
Simmen-canal (canton de Berne).	4	0,007 à 0,017	$0^m,40$ à $0^m,57$	Id.	Flotteurs de surface, la vitesse moyenne a été déduite de celle des flotteurs en la multipliant par un coefficient variant de 0,67 à 0,71.	Expér. de Wu[illegible] (1867), rapport[illegible] M. Kutter.

Catégorie. — *Canaux en terre offrant une résistance exceptionnelle* (suite).

[D]ÉSIGNATION des [E]XPÉRIENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVATIONS
[...]er-canal (canton [de G]laris).	2	0,003	1m,14 à 1m,35	Fond couvert de galets.	Flotteurs verticaux (Stabschwimmer).	Expér. de Legler. Voir l'ouvrage cité : *Hydrotechnische Mittheilungen*, Glaris, 1868.
[...] (affluent de [...]) entre Ber-[...] et Wildshut.	8	0,0007 à 0,0018	1m,07 à 2m,25	Id.	Moulinet.	Expér. de Reichenbach (1855), rapportée par M. Kutter.
[...] d'alimentation [du c]anal Chesapeake-[...].	2	0,0007	1m,12	Parois en maçonnerie très dégradées.	Doubles flotteurs.	Expér. de MM. Humphreys et Abbot (1859). *Report on the physics and hydraulics of the Mississipi.*
[...]ux de moulins à [...]gberg.	2	0,00069 à 0,00109	0m,358 à 0m,370	Fond herbé.	Moulinet.	Expér. de Bornemann (1854-59).

Les expériences sur la rigole de Chazilly et le canal collecteur du lac Fucino répondent à des cas qui se présentent assez fréquemment dans la pratique, lorsque les parois des canaux sont en partie herbées ou recouvertes de pierrailles. Quant aux expériences de la Nicca, dans les Grisons, elles concernent spécialement des canaux à très forte pente, à fond rocheux ou recouvert de galets. Elles ont été exécutées d'une manière fort sommaire ; la Nicca s'est contenté de mesurer la vitesse maximum V à l'aide de flotteurs (flotteurs de surface et bâtons lestés), et en a déduit la vitesse moyenne en multipliant V par le coefficient constant 0,83 ; ce coefficient est trop élevé, et il nous paraît préférable de calculer la vitesse moyenne U par la formule $U = V - 14\sqrt{RI}$, ainsi que nous l'avons fait pour les expériences de Dubuat. Les résultats obtenus par la Nicca sont fort irréguliers, et il en avait seulement conclu que les formules alors en usage conduisaient à une évaluation exagérée du débit ; ses expériences

n'ont donc de valeur que comme moyenne, après compensation d'écarts très considérables.

L'expérience sur le Rhin à Bâle est particulièrement intéressante, comme exemple d'un grand cours d'eau coulant avec une forte pente, sur un fond très résistant.

Le classement que nous venons de faire entre cinq catégories de parois laisse nécessairement en dehors un certain nombre de cas intermédiaires; nous avons déjà vu que l'addition d'un tiers de sable siliceux très fin avait suffi pour modifier notablement le coefficient correspondant aux parois en ciment. Des cas analogues viendront se placer entre les 3ᵉ et 4ᵉ catégories, qui laissent entre elles une lacune considérable. Ils se rapportent à des parois de caractère mixte (canaux en terre nouvellement régularisés, canaux revêtus sur une partie seulement de leur surface, etc.).

...ÉGORIE N° 3 *bis*. — *Parois mixtes intermédiaires entre les canaux en terre et les canaux en maçonnerie.*

Valeur du coefficient γ de la nouvelle formule γ = 0,85.

...GNATION des ...ÉRIENCES	NOMBRE des EXPÉRIENCES	PENTE I	VALEURS du RAYON MOYEN R	ÉTAT DES PAROIS	MODE DE JAUGEAGE	OBSERVATIONS
... de Grosbois ... de Bourgo- ... Largeur au 2 mètres.	4	0,00025 à 0,000275	0m,27 à 0m,45	Fond et talus vaseux, tres réguliers et sans herbes.	Moulinet et déversoir taré (Voir la note C de l'appendice des *Recherches hydrauliques*).	*Recherches hydrauliques*, série n° 49.
(Bavière rhénane) Hockenbach Largeur : 3m,50.	1	0,00078	0m,27	Lit préalablement nettoyé et régularisé avant l'expérience.	Moulinet.	Voir l'appendice de l'ouvrage de M. Grebenau : *Theorie der Bewegung des Wassers*, Munich, 1867.
Hühengraben Largeur : 1m,50.	1	0,0013	0m,18	Fossé d'irrigation probablement dans les mêmes conditions.	Flotteurs verticaux (bâtons lestés).	
...de décharge du ...n° 52 canal de ...gne. Largeur ..., 1m,80.	5	0,014	0m,21 à 0m,45	Fond et talus recouverts d'un perré soigneusement nettoyé avant l'expérience.	Vannes de décharge du canal.	*Rech. hydr.*, série n° 35.
... affluent du ...	3	0,002 et 0,0002	0m,51 à 0m,86	Talus perreyés.	»	Expér. des Ingénieurs bavarois (1867), rapportée par M. Kutter.
... de l'Emissaire ... du Fu... ...Italie. Section ... de 4 mètres ...geur et 5m,77 ...teur.	8	0,00104	0m,59 à 1m,13	Tunnel de 6.301 mètres de longueur, dont 2.574 mètres dans le roc calcaire non revêtu, et 3.727 mètres (en 3 sections) revêtus d'un parement en pierre de taille.	Moulinet.	Expér. de M. Perrone (1894). Mémoires annexés à la carte hydrographique de l'Italie, fascicule Liri-Garigliano, par M. Zoppi, 1895.
... de Beacon- ... aqueduc de ... (Sudbury). ...r. 3 mètres ..., radier plan.	1	0,00028	0m,67	Tunnel de 1.400 mètres de longueur. Radier en béton, côtés en rocher non revêtu sur la plus grande partie de la longueur (4 sections revêtues en briques).	Déversoir taré.	Expériences faites par MM. Fteley et Stearns (1878). Voir l'ouvrage de M. Hamilton-Smith : *The Flow of Watter*, 1886, et *Report on the additionnal Supply from Sudbury River*, Boston, 1882.
...nal de Solani ... du Gange). ...rectangulaire ... mètres de ... deux sections semblables ac... et séparées ... mur central).	10	0,00019 à 0,00024	0m,59 à 2m,42	Murs latéraux en maçonnerie, fond en briques à plat, quelques dépôts çà et là.	Flotteurs verticaux	Voir *Roorkee Hydraulics Experiments*, by Cap. Allan Cunningham, Roorkee, 1881.
... de moulins à ...berg. Section ...ale.	6	0,00012 à 0,00094	0m,26 à 0m,42	Lit argileux entre murs en maçonnerie à pierres sèches.	Moulinet.	Expér. de Bornemann (1854-59).
... de moulins à ...wyl (Suisse).	8	0,00120 à 0,00175	0m,32 à 0m,43	Section très régulière, terre et menu gravier.	Moulinet.	Expériences d'Epper en 1885.

Ce tableau comprend des natures de parois très diverses ; il faudrait y joindre une partie des séries nos 44 et 46, inscrites à la 3e catégorie (rigoles en maçonnerie avec radier couvert de vase et de pierrailles).

Nous terminerons ici cette longue énumération ; il s'agit maintenant de montrer comment notre nouvelle formule s'adapte à chacune des catégories de parois. La représentation graphique indiquée ci-dessus permettra d'en juger facilement ; rappelons d'abord que, si l'on fait $\sqrt{A} = y$; $\frac{1}{\sqrt{R}} = x$, à chaque catégorie correspond : pour notre formule, une ligne droite $y = 0{,}0115\,(1 + \gamma x)$, partant d'un point unique ($x = 0$; $y = 0{,}0115$), situé sur l'axe des ordonnées, et pour la formule Kutter un faisceau partant d'un point particulier ($x = 1$, $y = n$), et représenté par l'équation :

$$y = n + \frac{Kn^2}{1 + Kn}(x - 1),$$

dans laquelle K varie avec la pente. Il est nécessaire de passer successivement en revue les diverses catégories de parois.

1re Catégorie.

PAROIS TRÈS UNIES.

Expériences peu nombreuses, mais facilement comparables, en raison de la nature bien définie de la paroi ; elles se partagent en deux groupes assez distincts : 1° les expériences en petit (séries nos 2 et 24) ; 2° les expériences plus récentes sur les aqueducs de Naples, de Boston, et surtout celles du canal Cavour, où R s'élève jusqu'à 2m,20 ; tous les points correspondant se trouvent rangés sur une zone

sensiblement rectiligne, dont la droite

$$y = 0{,}0115\,(1 + 0{,}06x)$$

occupe la partie moyenne. Le faisceau qui répond à la formule Kutter ($n = 0{,}010$) est beaucoup trop incliné et la traverse obliquement ; cette formule représente assez bien les expériences en petit, les seules dont ses auteurs aient pu disposer, mais elle laisse les autres complètement de côté ; l'erreur, croissant avec le rayon moyen R, atteindrait près d'un quart pour le canal Cavour. Si, pour adapter la formule aux grandes sections, on augmentait le coefficient n, l'ensemble du faisceau se relèverait d'autant, et elle cesserait alors de représenter les expériences en petit.

2e Catégorie.

PAROIS UNIES.

Les remarques précédentes s'appliquent également à la deuxième catégorie, qui se partage aussi en deux groupes : 1° les très nombreuses expériences sur des canaux en planches, qui font en partie double emploi ; 2° les expériences nouvelles sur les grands aqueducs de New-York et de Boston. L'ensemble des points figuratifs répartis autour de la droite $y = 0{,}0115\,(1 + 0{,}16x)$ constitue de même une zone rectiligne, qui converge vers celle de la première catégorie. Le faisceau de la formule Kutter ($n = 0{,}012$) étant encore trop incliné, elle ne représente que les expériences en petit et donnerait des résultats trop faibles pour l'aqueduc de Boston, et surtout pour celui de New-York ; l'erreur atteint, pour ce dernier, en raison de ses plus grandes dimensions, près de $\frac{1}{6}$, écart

moindre toutefois que celui que nous avons constaté pour la première catégorie.

3e Catégorie.

PAROIS EN MAÇONNERIE DE MOELLONS.

Le nombre des données dont nous pouvions disposer pour les canaux en maçonnerie de moellons est fort restreint ; elles sont, en outre, moins précises. En dehors de celles qui figurent dans nos *Recherches hydrauliques*, l'expérience sur le canal industriel, nouvellement construit à Vérone, est la seule qui soit venue à notre connaissance. La droite correspondante à notre formule a pour équation $y = 0{,}0115(1 + 0{,}46x)$. Quant à la formule Kutter ($n = 0{,}017$), le coefficient angulaire qui détermine la direction générale du faisceau croissant moins rapidement que notre coefficient γ, cette direction se rapproche de celle de la droite précédente, et les deux formules sont, dans ce cas, presque équivalentes, sauf toutefois pour l'aqueduc de Vérone, où celle de M. Kutter donne encore un résultat trop faible.

4e Catégorie.

CANAUX EN TERRE DANS DES CONDITIONS ORDINAIRES.

Très multipliées sur les fleuves, les expériences sur des canaux en terre, dans des conditions normales, sont peu nombreuses pour les petits cours d'eau où le rayon moyen R descend au-dessous de 0m,50 et font à peu près complètement défaut pour les cas intermédiaires (valeurs de R voisines de 1 mètre). La figure nous présente donc deux groupes séparés par un intervalle vide ; la droite

$y = 0{,}0115\,(1 + 1{,}30x)$ traverse en son milieu le groupe correspondant aux cours d'eau d'Europe ; elle traverse également celui qui correspond aux expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne, ne laissant de côté qu'un petit nombre de points (*). Nous ne retrouverons plus ici, du reste, la distribution régulière qui apparaissait dans les deux premières catégories ; les points sont beaucoup plus disséminés, en raison des différences qui existent réellement dans l'état des parois en terre, et aussi par suite de l'imperfection de bien des données expérimentales, puisées à des sources diverses. Quant aux expériences du Mississipi, elles sont indiquées par un petit nombre de points assez irrégulièrement placés (**).

Le faisceau fourni par la formule Kutter ($n = 0{,}025$) est cette fois trop peu incliné, car il laisse au-dessus de lui la presque totalité des points correspondants aux petites valeurs de R ; il embrasse bien le groupe des expériences sur les cours d'eau d'Europe, mais sans que l'on aperçoive aucune relation avec la pente ; ainsi plusieurs point relatifs à la Seine et à la Saône (pentes de $0^m{,}10$ et $0^m{,}04$ par kilomètre) se trouvent sur la ligne qui, suivant la formule, répondrait à la pente de 1 millimètre par mètre ; de même des points relatifs au Weser (pentes de $0^m{,}20$ à $0^m{,}50$ par kilomètre) se trouvent sur la ligne qui répond à la pente de $0^m{,}10$ par kilomètre. C'est seulement pour les résultats exceptionnels du Mississipi que se maintient la relation en vue de laquelle a été établie la forme compliquée de cette expression.

(*) Ces points sont ceux qui correspondent à la première expérience de chaque série, c'est-à-dire au plus faible débit, la moindre surface de la section rendant beaucoup plus sensible l'effet des irrégularités de la paroi,

(**) En raison de l'incertitude que présentent ces expériences, nous n'avons figuré que trois points correspondant aux moyennes des expériences de Vicksburg (1851), Carollton et Fulton (1881-82).

5e Catégorie.

CANAUX EN TERRE PRÉSENTANT UNE RÉSISTANCE EXCEPTIONNELLE.

Lorsque les parois d'un canal sont herbées ou rocheuses, il est clair que les coefficients applicables à chaque cas particulier peuvent varier dans les limites les plus étendues, suivant le degré d'irrégularité du lit, c'est-à-dire qu'en réalité on ne peut demander à une formule qu'une assez grossière approximation. L'indétermination est d'autant plus grande que les dimensions du canal sont plus réduites, et les résultats d'expérience, nécessairement très variables, ne se prêtent plus à une coordination régulière. Les expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne et sur le collecteur du lac Fucino répondent à des cas qui se rencontrent fréquemment dans la pratique ; quant à celles de la Nicca, elles concernent surtout les petits cours d'eau coulant avec de très fortes pentes dans des lits rocheux, et leurs résultats, extrêmement irréguliers, ne sauraient guère donner que des indications générales (*).

L'expérience la plus remarquable du groupe est celle qui a été faite sur le Rhin à Bâle ; elle réunit les conditions toutes spéciales d'un cours d'eau considérable, coulant avec une forte pente dans un lit très résistant, tapissé de gros galets, et le coefficient obtenu est supérieur de près de moitié à la valeur qui correspondrait à un lit en terre de condition ordinaire.

(*) Nous n'avons pas cru devoir figurer les expériences de la Nicca sur la planche, qu'elles rendraient extrêmement confuse ; leur moyenne concorde toutefois assez bien avec la formule $y = 0{,}0115\,(1 + 1{,}75x)$.

Catégorie n° 3 *bis*.

PAROIS INTERMÉDIAIRES ENTRE LA 3e ET LA 4e CATÉGORIES.

La 3e et la 4e catégories laissent entre elles une large lacune, dans laquelle viennent se placer des parois de nature mixte (canaux en terre fraichement régularisés, revêtus en tout ou en partie de perrés, etc.) ; nous ne possédons pas assez de données pour pouvoir procéder à un classement méthodique, s'étendant à des parois nettement définies, et la formule $y = 0{,}0115\,(1 + 0{,}85x)$ n'a d'autre valeur qu'une indication approximative, autour de laquelle les coefficients sont susceptibles de varier dans d'assez larges limites.

L'étude comparative que nous venons de faire, en passant en revue les meilleures données expérimentales dont on dispose aujourd'hui, renferme bien des considérations de détail, qu'il est nécessaire de résumer en peu de mots. Nous proposons la formule générale :

$$\frac{\sqrt{\mathrm{RI}}}{\mathrm{U}} = 0{,}0115\left(1 + \frac{\gamma}{\sqrt{\mathrm{R}}}\right),$$

qui revient, en résolvant par rapport à U, à :

$$\mathrm{U} = \frac{87\sqrt{\mathrm{RI}}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{\mathrm{R}}}};$$

γ étant un coefficient, auquel on peut attribuer, pour chacune des catégories de parois, les valeurs ci-après :

Cat. n° 1 : Parois très unies (ciment, bois raboté, etc.). $\gamma = 0{,}06$
Cat. n° 2 : Parois unies (planches, briques, pierres de taille, etc.).. $\gamma = 0{,}16$
Cat. n° 3 : Parois en maçonnerie de moellons........ $\gamma = 0{,}46$

Cat. intermédiaire, n° 3 *bis*, comprenant des parois de nature mixte, sections en terre très régulières, ou revêtues de perrés, etc. .... $\gamma = 0,85$

Cat. n° 4 : Canaux en terre dans des conditions ordinaires.. $\gamma = 1,30$

Cat. n° 5 : Canaux en terre présentant une résistance exceptionnelle............................... $\gamma = 1,75$

Cette formule dérive immédiatement de l'équation (2), à laquelle nous avons été ramené, après avoir essayé, sans avantage sérieux, de lui substituer des relations plus compliquées.

Nous ne faisons pas entrer la pente dans la détermination du coefficient γ, cette complication nous paraissant au moins inutile. Si l'on considère d'abord les canaux artificiels des deux premières catégories, on constate, il est vrai, en comparant les expériences sur des rigoles en planches, une certaine augmentation du coefficient A, quand la pente I diminue ; mais l'inverse a lieu, si l'on opère sur des parois plus résistantes (*). Cette augmentation disparait, du reste, quand la section devient plus grande, et l'on n'en aperçoit plus de trace dans les expériences du canal Cavour, des aqueducs à faible pente de New-York, de Boston, etc.

Si l'on considère ensuite les grands cours d'eau, on ne trouve pas, dans ceux d'Europe, que A diminue en même temps que I, ainsi que paraissaient l'indiquer les anciennes expériences de MM. Humphreys et Abbot ; mais ces expériences, peu nombreuses et assez sommaires, sont en complète contradiction avec celles qui ont été faites plus tard sur le Mississipi, et surtout avec celles de l'Irrawaddi. Il n'y a pas lieu, dans l'état actuel de nos connaissances, de supposer que ces immenses cours d'eau obéissent à d'autres lois que nos fleuves d'Europe.

(*) Voir *Recherches hydrauliques* : « Séries n°ˢ 11 à 17 ; Canaux en planches revêtues de liteaux cloués transversalement et espacés de $0^m,01$ et de $0^m,05$ ».

Nous avons fait remarquer, précédemment, que les points figurant graphiquement (Voir pl. 29) les expériences d'une même catégorie de parois se distribuent suivant une zone rectiligne, de part et d'autre de la droite correspondante à notre formule ; cette zone est, surtout pour les deux premières catégories, coupée sous un angle assez prononcé par le faisceau de droites, que fournit la formule Kutter. Il n'est donc pas possible de prendre, ainsi qu'on le fait quelquefois, comme définissant le degré de rugosité de la paroi, la valeur de n qui ferait concorder cette formule avec une expérience donnée ; car la valeur ainsi obtenue dépend du rayon moyen R et varie avec lui, de sorte qu'elle n'a pas, comme le coefficient angulaire de notre formule, un caractère constant et spécial à la paroi considérée. Prenons pour exemple l'aqueduc de New-York : la pente $I = 0{,}0001326$; par suite, $K = 34{,}7$, et la formule (4) devient :

$$\frac{\sqrt{A}}{n} - 1 = \frac{34{,}7n}{1 + 34{,}7n}\left(\frac{1}{\sqrt{R}} - 1\right).$$

Si elle était applicable dans sa généralité, on devrait pouvoir représenter la série des résultats d'expérience en attribuant à n une seule et même valeur ; mais il n'en est rien ; pour la valeur particulière $R = 1^m{,}0$ (exp. n° 11 de la série), le deuxième membre de l'équation s'annulant, on a immédiatement $n = \sqrt{A} = 0{,}0135$; pour établir la concordance avec l'expérience n° 1 ($R = 0^m{,}227$, $\sqrt{A} = 0{,}0164$), il faut faire $n = 0{,}0123$ et, de même, pour l'expérience n° 14 ($R = 1^m{,}170$, $\sqrt{A} = 0{,}0135$) $n = 0{,}0138$. La différence est trop grande pour que ce coefficient serve de criterium définissant le degré de rugosité. L'écart serait encore plus important si l'on considérait les parois très unies de la première catégorie ; en se reportant à la représentation graphique des expé-

riences, on voit, à l'inspection de la figure, qu'en donnant à *n* la valeur 0,010, la formule Kutter représente les expériences en petit sur un canal rectangulaire en ciment (série n° 2), mais qu'elle donnerait des valeurs beaucoup trop faibles de $\sqrt{A}$, si on l'appliquait au pont-canal de l'aqueduc de Boston et, à plus forte raison, à celui du canal Cavour ; le faisceau passe, en effet, fort au-dessous des points qui leur correspondent ; il faudrait, pour le canal Cavour, porter la valeur de *n* à 0,013, ce qui équivaudrait à un changement complet de catégorie ; les deux groupes d'expériences, qui, pour notre formule, dépendent d'une seule catégorie ($\gamma = 0,06$), se trouveraient, pour celle de MM. Ganguillet et Kutter, classés, le premier dans la catégorie n° 1, le deuxième entre les catégories n°s 2 et 3, c'est-à-dire que cette dernière formule n'est pas propre à représenter l'ensemble des phénomènes.

Les tables ci-après donnent les valeurs de $\sqrt{A}$ calculées au moyen de la nouvelle formule pour les diverses catégories ; elles font connaître également celles de $\frac{1}{\sqrt{A}}$ ou $\frac{U}{\sqrt{RI}}$, dont on a plus souvent besoin dans les applications.

Nous avons, en outre, réuni dans uu appendice spécial, les éléments détaillés de toutes les expériences indiquées dans les tableaux qui précèdent, en les classant par catégories, suivant la nature des parois.

Paris, 10 novembre 1897.

…E DES VALEURS DE $\frac{\sqrt{RI}}{U}$ ET $\frac{U}{\sqrt{RI}}$ CALCULÉES D'APRÈS LA FORMULE $U = \frac{87\sqrt{RI}}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$

POUR LES SIX CATÉGORIES DE PAROIS.

…gorie n° 1. — $\gamma = 0,06$. — Parois très unies (ciment, bois raboté, etc.).

…gorie n° 2. — $\gamma = 0,16$. — Parois unies (planches, briques, pierre de taille, etc.).

…gorie n° 3. — $\gamma = 0,46$. — Parois en maçonnerie de moellons.

…gorie n° 3 *bis*. — $\gamma = 0,85$. — Parois de nature mixte (sections en terre très régulières, rigoles revêtues de perrés, etc.).

…gorie n° 4. — $\gamma = 1,30$. — Canaux en terre dans des conditions ordinaires.

…gorie n° 5. — $\gamma = 1,75$. — Canaux en terre présentant une résistance exceptionnelle (fonds de galets, parois herbées, etc.).

VALEURS DE $\frac{\sqrt{RI}}{U}$						VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$					
Catég. n° 1	Catég. n° 2	Catég. n° 3	Catég. n° 3 *bis*	Catég. n° 4	Catég. n° 5	Catég. n° 1	Catég. n° 2	Catég. n° 3	Catég. n° 3 *bis*	Catég. n° 4	Catég. n° 5
0,0146	0,0197	0,0352	0,0552	0,0784	0,1015	68,5	50,7	28,4	18,1	12,8	9,9
0,0143	0,0190	0,0331	0,0514	0,0725	0,0937	69,8	52,6	30,2	19,4	13,8	10,7
0,0141	0,0185	0,0315	0,0484	0,0680	0,0876	70,9	54,2	31,7	20,6	14,7	11,4
0,0139	0,0180	0,0302	0,0461	0,0644	0,0827	71,8	55,6	33,1	21,7	15,5	12,1
0,0138	0,0176	0,0291	0,0441	0,0613	0,0786	72,5	56,7	34,4	22,7	16,3	12,7
0,0137	0,0173	0,0282	0,0424	0,0588	0,0751	73,1	57,7	35,5	23,6	17,0	13,3
0,0136	0,0170	0,0274	0,0410	0,0566	0,0722	73,6	58,7	36,5	24,4	17,7	13,9
0,0135	0,0168	0,0268	0,0397	0,0547	0,0696	74,1	59,5	37,4	25,2	18,3	14,4
0,0134	0,0166	0,0262	0,0386	0,0530	0,0673	74,6	60,2	38,2	25,9	18,9	14,9
0,0133	0,0164	0,0256	0,0376	0,0515	0,0653	75,0	60,9	39,0	26,7	19,4	15,3
0,0133	0,0163	0,0252	0,0367	0,0501	0,0635	75,3	61,5	39,7	27,2	19,9	15,8
0,0132	0,0161	0,0247	0,0359	0,0489	0,0618	75,6	62,1	40,5	27,8	20,4	16,2
0,0132	0,0160	0,0243	0,0352	0,0478	0,0603	75,9	62,7	41,2	28,4	20,9	16,6
0,0131	0,0158	0,0240	0,0345	0,0467	0,0589	76,2	63,2	41,8	29,0	21,4	17,0
0,0131	0,0157	0,0236	0,0339	0,0458	0,0577	76,5	63,6	42,4	29,5	21,8	17,3
0,0130	0,0156	0,0233	0,0334	0,0449	0,0565	76,7	64,1	42,9	30,0	22,3	17,7
0,0130	0,0155	0,0230	0,0328	0,0441	0,0554	76,9	64,5	43,5	30,5	22,7	18,1
0,0130	0,0154	0,0228	0,0323	0,0434	0,0544	77,1	64,9	44,0	30,9	23,1	18,4
0,0129	0,0153	0,0225	0,0319	0,0427	0,0535	77,3	65,2	44,4	31,4	23,4	18,7
0,0129	0,0153	0,0223	0,0315	0,0420	0,0526	77,5	65,5	44,8	31,8	23,8	19,0
0,0129	0,0152	0,0221	0,0310	0,0414	0,0518	77,6	65,9	45,3	32,2	24,2	19,3
0,0129	0,0151	0,0219	0,0307	0,0408	0,0510	77,8	66,2	45,7	32,6	24,5	19,6
0,0128	0,0150	0,0217	0,0303	0,0403	0,0502	78,0	66,5	46,1	33,0	24,8	19,9
0,0128	0,0150	0,0215	0,0300	0,0397	0,0495	78,1	66,8	46,5	33,4	25,2	20,2
0,0128	0,0149	0,0213	0,0297	0,0393	0,0489	78,3	67,0	46,9	33,7	25,5	20,5
0,0128	0,0149	0,0211	0,0293	0,0388	0,0482	78,4	67,3	47,3	34,1	25,8	20,7
0,0128	0,0148	0,0210	0,0291	0,0383	0,0476	78,5	67,6	47,6	34,3	26,1	21,0
0,0127	0,0148	0,0209	0,0288	0,0379	0,0471	78,6	67,8	47,9	34,7	26,4	21,2
0,0127	0,0147	0,0208	0,0285	0,0375	0,0465	78,8	68,0	48,2	35,1	26,7	21,5
0,0127	0,0147	0,0206	0,0283	0,0371	0,0460	78,9	68,2	48,5	35,4	26,9	21,7
0,0127	0,0146	0,0204	0,0280	0,0368	0,0455	79,0	68,4	48,8	35,7	27,2	22,0
0,0127	0,0146	0,0203	0,0278	0,0364	0,0450	79,1	68,6	49,2	36,0	27,5	22,2
0,0126	0,0145	0,0202	0,0276	0,0361	0,0446	79,2	68,8	49,5	36,3	27,7	22,4
0,0126	0,0145	0,0201	0,0274	0,0357	0,0441	79,2	69,0	49,8	36,6	28,0	22,7
0,0126	0,0144	0,0200	0,0272	0,0354	0,0437	79,3	69,2	50,1	36,8	28,2	22,9
0,0126	0,0144	0,0199	0,0270	0,0351	0,0433	79,4	69,4	50,4	37,1	28,5	23,1
0,0126	0,0144	0,0199	0,0268	0,0349	0,0429	79,5	69,6	50,6	37,4	28,7	23,3
0,0126	0,0143	0,0197	0,0266	0,0346	0,0426	79,6	69,7	50,9	37,6	28,9	23,5
0,0126	0,0143	0,0196	0,0264	0,0343	0,0422	79,7	69,9	51,1	37,9	29,2	23,7

RAYONS MOYENS R	VALEURS DE $\frac{\sqrt{RI}}{U}$						VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$					
	Catég. n° 1	Catég. n° 2	Catég. n° 3	Catég. n° 3 *bis*	Catég. n° 4	Catég. n° 5	Catég. n° 1	Catég. n° 2	Catég. n° 3	Catég. n° 3 *bis*	Catég. n° 4	Catég. n° 5
m. 0,44	0,0125	0,0143	0,0195	0,0262	0,0340	0,0418	79,7	70,1	51,4	38,1	29,4	23,9
0,45	0,0125	0,0142	0,0194	0,0261	0,0338	0,0415	79,8	70,2	51,6	38,4	29,6	24,1
0,46	0,0125	0,0142	0,0193	0,0259	0,0335	0,0412	79,9	70,4	51,8	38,6	29,8	24,3
0,47	0,0125	0,0142	0,0192	0,0258	0,0333	0,0409	80,0	70,5	52,0	38,8	30,0	24,5
0,48	0,0125	0,0142	0,0191	0,0256	0,0331	0,0405	80,0	70,6	52,3	39,1	30,2	24,7
0,49	0,0125	0,0141	0,0191	0,0255	0,0329	0,0403	80,1	70,8	52,5	39,3	30,4	24,8
0,50	0,0125	0,0141	0,0190	0,0253	0,0326	0,0400	80,2	70,9	52,7	39,5	30,6	25,0
0,55	0,0124	0,0140	0,0186	0,0247	0,0317	0,0386	80,4	71,5	53,7	40,5	31,6	25,9
0,60	0,0124	0,0139	0,0183	0,0241	0,0308	0,0375	80,7	72,1	54,6	41,4	32,5	26,7
0,65	0,0124	0,0138	0,0181	0,0236	0,0300	0,0365	80,9	72,6	55,4	42,3	33,3	27,4
0,70	0,0123	0,0137	0,0178	0,0232	0,0294	0,0356	81,1	73,0	56,1	43,1	34,1	28,1
0,75	0,0123	0,0136	0,0176	0,0228	0,0288	0,0347	81,3	73,4	56,8	43,9	34,8	28,8
0,80	0,0123	0,0136	0,0174	0,0224	0,0282	0,0340	81,5	73,8	57,4	44,6	35,5	29,4
0,85	0,0122	0,0135	0,0172	0,0221	0,0277	0,0333	81,7	74,1	58,0	45,2	36,1	30,0
0,90	0,0122	0,0134	0,0171	0,0218	0,0273	0,0327	81,8	74,4	58,6	45,9	36,7	30,6
0,95	0,0122	0,0134	0,0169	0,0215	0,0267	0,0321	81,9	74,7	59,1	46,5	37,3	31,1
1,00	0,0122	0,0133	0,0168	0,0213	0,0265	0,0316	82,0	75,0	59,6	47,0	37,8	31,6
1,10	0,0122	0,0133	0,0165	0,0208	0,0258	0,0307	82,2	75,4	60,5	48,0	38,8	32,6
1,20	0,0121	0,0132	0,0163	0,0204	0,0251	0,0299	82,4	75,9	61,3	48,9	39,7	33,5
1,30	0,0121	0,0131	0,0161	0,0201	0,0246	0,0291	82,6	76,3	62,0	49,8	40,6	34,3
1,40	0,0121	0,0131	0,0160	0,0198	0,0241	0,0285	82,8	76,3	62,6	50,6	41,4	35,1
1,50	0,0121	0,0130	0,0158	0,0195	0,0237	0,0279	82,9	76,9	63,2	51,3	42,2	35,8
1,60	0,0120	0,0130	0,0157	0,0192	0,0233	0,0274	83,0	77,2	63,8	52,0	42,9	36,5
1,70	0,0120	0,0129	0,0156	0,0190	0,0230	0,0269	83,1	77,5	64,3	52,6	43,6	37,1
1,80	0,0120	0,0129	0,0154	0,0188	0,0226	0,0265	83,2	77,7	64,8	53,2	44,2	37,7
1,90	0,0120	0,0128	0,0153	0,0186	0,0223	0,0261	83,3	77,9	65,2	53,8	44,8	38,3
2,00	0,0120	0,0128	0,0152	0,0184	0,0221	0,0257	83,4	78,1	65,6	54,3	45,3	38,9
2,20	0,0120	0,0127	0,0151	0,0181	0,0216	0,0251	83,6	78,5	66,4	55,3	46,4	39,9
2,40	0,0119	0,0127	0,0149	0,0178	0,0212	0,0245	83,7	78,8	67,1	56,2	47,3	40,8
2,60	0,0119	0,0126	0,0148	0,0175	0,0208	0,0240	83,8	79,1	67,7	57,0	48,1	41,7
2,80	0,0119	0,0126	0,0147	0,0173	0,0204	0,0235	83,9	79,4	68,2	57,7	48,9	42,5
3,00	0,0119	0,0126	0,0146	0,0171	0,0201	0,0231	84,0	79,6	68,7	58,3	49,7	43,3
3,20	0,0119	0,0125	0,0145	0,0170	0,0199	0,0227	84,1	79,8	69,2	58,9	50,4	44,0
3,40	0,0119	0,0125	0,0144	0,0168	0,0196	0,0224	84,2	80,0	69,6	59,5	51,0	44,6
3,60	0,0119	0,0125	0,0143	0,0167	0,0194	0,0221	84,3	80,2	70,0	60,1	51,6	45,2
3,80	0,0119	0,0124	0,0142	0,0165	0,0192	0,0218	84,4	80,4	70,4	60,6	52,2	45,8
4,00	0,0118	0,0124	0,0141	0,0164	0,0190	0,0216	84,4	80,5	70,7	61,0	52,7	46,4
4,50	0,0118	0,0124	0,0140	0,0161	0,0186	0,0210	84,6	80,9	71,5	62,1	53,9	47,6
5,00	0,0118	0,0123	0,0139	0,0159	0,0182	0,0205	84,7	81,2	72,1	63,0	55,0	48,8
5,50	0,0118	0,0123	0,0138	0,0157	0,0179	0,0201	84,8	81,4	72,7	63,8	56,0	49,8
6,00	0,0118	0,0123	0,0137	0,0155	0,0176	0,0197	84,9	81,6	73,2	64,6	56,8	50,7
6,50	0,0118	0,0122	0,0136	0,0153	0,0174	0,0194	85,0	81,8	73,7	65,2	57,6	51,6
7,00	0,0118	0,0122	0,0135	0,0152	0,0172	0,0191	85,0	82,0	74,1	65,8	58,3	52,3
7,50	0,0118	0,0122	0,0134	0,0151	0,0170	0,0189	85,1	82,2	74,5	66,4	58,9	53,0
8,00	0,0117	0,0122	0,0134	0,0150	0,0168	0,0186	85,2	82,3	74,8	66,9	59,5	53,7
8,50	0,0117	0,0121	0,0133	0,0149	0,0166	0,0184	85,2	82,4	75,1	67,4	60,1	54,3
9,00	0,0117	0,0121	0,0133	0,0148	0,0165	0,0182	85,3	92,6	75,4	67,8	60,7	54,9
9,50	0,0117	0,0121	0,0132	0,0147	0,0163	0,0180	85,3	82,7	75,7	68,2	61,2	55,6
10,00	0,0117	0,0121	0,0132	0,0146	0,0162	0,0179	85,3	82,8	75,9	68,5	61,6	56,0
11,00	0,0117	0,0121	0,0131	0,0144	0,0160	0,0176	85,4	83,0	76,4	69,2	62,5	57,0
12,00	0,0117	0,0120	0,0130	0,0143	0,0158	0,0173	85,5	83,1	76,8	69,9	63,3	57,8
13,00	0,0117	0,0120	0,0130	0,0142	0,0156	0,0171	85,5	83,3	77,1	70,4	63,9	58,6
14,00	0,0117	0,0120	0,0129	0,0141	0,0155	0,0169	85,6	83,4	77,4	70,9	64,5	59,3
15,00	0,0117	0,0120	0,0129	0,0140	0,0154	0,0167	85,6	83,5	77,7	71,3	65,1	59,9
16,00	0,0117	0,0120	0,0128	0,0139	0,0152	0,0165	85,7	83,6	78,0	71,7	65,6	60,5
17,00	0,0117	0,0119	0,0128	0,0139	0,0151	0,0164	85,7	83,7	78,3	72,1	66,1	61,1
18,00	0,0117	0,0119	0,0127	0,0138	0,0150	0,0162	85,7	83,8	78,5	72,5	66,6	61,6
19,00	0,0117	0,0119	0,0127	0,0137	0,0149	0,0161	85,8	83,9	78,7	72,8	67,0	62,1
20,00	0,0117	0,0119	0,0127	0,0137	0,0148	0,0061	85,8	84,0	78,8	73,0	67,3	62,5

APPENDICE.

Éléments des expériences citées.

(Les tableaux suivants ne comprennent pas les expériences empruntées aux *Recherches hydrauliques*, savoir: séries n°s 1 à 3, 6 à 11, 18 à 23, 26, 32 à 50. Afin de ne pas surcharger la planche, on a supprimé dans la représentation graphique les expériences n°s 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11 des séries n°s 3, 6 à 8, 18, 21, 22, 23, 26 ; les expériences n°s 4 et 6 des séries n°s 9 à 11 ; les expériences n°s 3, 5, 6, 8, 9, 10 de la série n° 19, et enfin les expériences n°s 4, 6, 7, 8 de la série n° 20.)

Quant aux expériences puisées à des sources diverses, et trop nombreuses pour être toutes représentées isolément, elles ont été réunies par groupes, en les classant suivant les valeurs croissantes de R, et la moyenne de chaque groupe figure seule sur la planche.

Toutes les données des tableaux sont exprimées en mesures métriques.

NUMERO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1re CATÉGORIE. — PAROIS TRÈS UNIES.						
Aqueduc de Boston (Sudbury). — Pont de la rivière Charles (1878-1880)						
1	0,568	0,000161	0,77	0,0124	80,7	
2	0,624	0,000160	0,814	0,0122	82,0	
3	0,643	0,000158	0,855	0,0118	84,8	
Aqueduc de Naples (Serino) (1896).						
1	0,431	0,00050	1,240	0,0118	84,5	
Canal Cavour. — Pont-canal du Cervo (1892).						
1	1,560	0,00011	1,074	0,0122	82,0	
2	1,757	0,00011	1,147	0,0121	82,5	
3	2,195	0,00011	1,337	0,0116	86,0	
Tuyau d'expérience en ciment (Dijon) (1895).						
1	0,200	0,000625	0,848	0,0132	75,8	
2	0,200	0,000675	0,916	0,0127	78,8	
3	0,200	0,000925	1,053	0,0129	77,4	
4	0,200	0,001050	1,114	0,0130	76,9	
5	0,200	0,001375	1,279	0,0130	77,1	Réunies en un seul groupe.
6	0,200	0,001725	1,439	0,0129	77,4	
7	0,200	0,001750	1,460	0,0128	78,0	
8	0,200	0,001850	1,501	0,0128	78,1	
9	0,200	0,002575	1,773	0,0128	78,1	
10	0,200	0,003275	2,008	0,0127	78,5	
2e CATÉGORIE. — PAROIS UNIES.						
Aqueduc de New-York (New-Croton) (1895).						
1	0,229	0,0001326	0,336	0,0164	61,0	
2	0,305	0,0001326	0,418	0,0152	65,7	
3	0,381	0,0001326	0,484	0,0147	68,0	
4	0,457	0,0001326	0,548	0,0142	70,4	
5	0,533	0,0001326	0,596	0,0141	70,9	
6	0,610	0,0001326	0,642	0,0140	71,4	
7	0,686	0,0001326	0,691	0,0138	72,5	Extrait de la table des débits de l'aqued[…]
8	0,762	0,0001326	0,734	0,0137	73,0	par M. Fteley à l'aide des résultats d'ex[…]
9	0,838	0,0001326	0,769	0,0137	73,0	
10	0,914	0,0001326	0,809	0,0136	73,5	
11	0,991	0,0001326	0,848	0,0135	74,0	
12	1,067	0,0001326	0,880	0,0135	74,0	
13	1,143	0,0001326	0,913	0,0135	74,0	
14	1,170	0,0001326	0,922	0,0135	74,0	
Aqueduc de Boston (Sudbury) (1879).						
1	0,152	0,000189	0,346	0,0155	64,6	
2	0,183	0,000189	0,387	0,0152	65,8	
3	0,244	0,000189	0,462	0,0147	68,0	
4	0,305	0,000189	0,535	0,0142	70,5	
5	0,366	0,000189	0,594	0,0140	71,4	
6	0,427	0,000189	0,655	0,0137	72,9	Même observation que pour l'aqueduc de [N…]
7	0,488	0,000189	0,711	0,0135	74,1	
8	0,549	0,000189	0,766	0,0133	75,2	
9	0,610	0,000189	0,818	0,0131	76,2	
10	0,671	0,000189	0,867	0,0130	77,0	
11	0,712	0,000189	0,893	0,0130	77,0	

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
	Égout collecteur de Boston. — Siphon de Dorchester-Bay (1885).					
1	0,572	0,000513	1,149	0,0149	67,1	Réunies en un seul groupe.
2	0,572	0,000555	1,158	0,0153	65,1	
3	0,572	0,000581	1,198	0,0152	65,7	
	Aqueduc de Glasgow. — (Loch Katrine) (1895).					
1	0,374	0,000182	0,570	0,0145	69,1	1er groupe.
2	0,449	0,000182	0,631	0,0143	69,8	2e groupe.
3	0,449	0,000182	0,642	0,0141	71,0	
4	0,454	0,000182	0,675	0,0133	74,3	
5	0,457	0,000182	0,649	0,0141	71,2	
6	0,457	0,000182	0,657	0,0139	72,0	
7	0,472	0,000182	0,663	0,0140	71,5	
8	0,487	0,000182	0,672	0,0140	71,4	3e groupe.
9	0,490	0,000182	0,681	0,0139	72,1	
10	0,491	0,000182	0,678	0,0139	71,7	
11	0,494	0,000182	0,684	0,0139	72,2	
12	0,496	0,000182	0,687	0,0138	72,3	
13	0,530	0,000182	0,688	0,0143	70,0	4e groupe.
14	0,552	0,000182	0,635	0,0133	75,0	
	3e CATÉGORIE. — PAROIS EN MAÇONNERIE.					
	Canal industriel de Vérone (1896).					
1	1,561	0,00031	1,310	0,0168	59,5	
	Canal Cavour. — Aqueduc-siphon de l'Elvo (1892).					
1	0,848	0,0000677	0,491	0,0154	64,8	
2	0,848	0,0001072	0,595	0,0160	62,4	
3	0,848	0,0001523	0,705	0,0161	62,0	
4	0,848	0,0002087	0,821	0,0162	61,7	
5	0,848	0,0002764	0,945	0,0162	61,8	
6	0,848	0,0003610	1,079	0,0162	61,7	
7	0,848	0,0004625	1,223	0,0162	61,8	
8	0,848	0,0005866	1,380	0,0162	61,9	
9	0,848	0,0007332	1,553	0,0161	62,3	
	CATÉGORIE INTERMÉDIAIRE N° 3 *bis*.					
	Tunnel de Beacon Street (Aqueduc de Boston) (1878).					
1	0,674	0,000281	0,602	0,0228	43,8	
	Tunnel de l'Émissaire Torlonia (Lac Fucino) (1894).					
1	0,589	0,00104	1,031	0,0240	41,6	1er groupe.
2	0,662	0,00104	1,105	0,0237	42,1	
3	0,778	0,00104	1,290	0,0220	45,4	2e groupe.
4	0,822	0,00104	1,318	0,0222	45,1	
5	0,991	0,00104	1,538	0,0209	47,9	3e groupe.
6	1,047	0,00104	1,513	0,0218	45,8	
7	1,076	0,00104	1,496	0,0224	44,7	
8	1,133	0,00104	1,633	0,0210	47,6	4e groupe.
	Expériences sur des ruisseaux (Bavière Rhénane, Grebenau) (1866).					
1	0,179	0,0013	0,434	0,0352	28,4	1er groupe (Hübengraben).
2	0,264	0,000778	0,439	0,0326	30,6	2e groupe (Hockenbach).
3	0,268	0,000797	0,446	0,0328	30,5	

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
			Tauber (1867).			
1	0,506	0,0020	1,188	0,0268	37,3	1er groupe.
2	0,520	0,0019	1,155	0,0272	36,7	1er groupe.
3	0,861	0,0002	0,612	0,0214	46,7	2e groupe.
			Canal du Gange. — Pont-canal de Solani (1880).			
	Les numéros inscrits dans la colonne d'observations sont ceux des séries rapportées dans l'ouvra M. Allan Cunningham; les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre des opérations de chaque sér					
			1° *Aqueduc de droite.*			
1	1,042	0,000195	0,741	0,0192	52,0	124 (1) — 1er groupe.
2	1,231	0,000242	0,913	0,0189	52,9	122 (6) — 1er groupe.
3	1,527	0,000240	1,045	0,0183	54,6	121 (2) — 1er groupe.
4	1,653	0,000245	1,140	0,0176	56,7	119 (7) — 2e groupe.
5	1,786	0,000225	1,100	0,0182	54,9	118 (4) — 2e groupe.
6	1,875	0,000220	1,119	0,0182	55,1	117 (2) — 2e groupe.
7	1,951	0,000207	1,097	0,0183	54,6	116 (5) — 2e groupe.
8	2,060	0,000205	1,137	0,0181	55,3	113-114-115 (6) — 3e groupe.
9	2,170	0,000204	1,158	0,0182	55,0	112 (3) — 3e groupe.
10	2,265	0,000193	1,180	0,0177	56,4	111 (8) — 3e groupe.
11	2,328	0,000193	1,177	0,0180	55,5	110 (12) — 3e groupe.
12	2,366	0,000193	1,197	0,0179	56,0	109 (10) — 3e groupe.
13	2,426	0,000190	1,237	0,0174	57,6	108 (10) — 3e groupe.
			2° *Aqueduc de gauche.*			
1	1,960	0,000225	1,055	0,0199	50,2	107 (4) — 4e groupe.
2	2,076	0,000206	1,064	0,0195	51,4	106 (3) — 4e groupe.
3	2,198	0,000222	1,128	0,0196	51,1	105 (2) — 4e groupe.
4	2,329	0,000207	1,180	0,0186	53,7	103 (4) — 4e groupe.
5	2,420	0,000189	1,237	0,0173	57,8	101 (3) — 4e groupe.
			Coursiers de moulins à Freyberg (Bornemann) (1854-1859).			
1	0,262	0,000520	0,457	0,0255	39,2	1er groupe.
2	0,288	0,000940	0,527	0,0312	32,0	1er groupe.
3	0,308	0,000490	0,488	0,0254	39,7	1er groupe.
4	0,378	0,000242	0,427	0,0224	44,6	2e groupe.
5	0,413	0,000120	0,271	0,0260	38,5	2e groupe.
6	0,416	0,000135	0,283	0,0264	37,7	2e groupe.
			Expériences sur de petits cours d'eau en Suisse (Epper) (1885).			
			Coursiers de moulins à Kagiswyl.			
1	0,317	0,001754	0,859	0,0274	36,4	Réunies en un seul groupe.
2	0,423	0,001255	0,957	0,0240	41,5	Réunies en un seul groupe.
3	0,430	0,001200	0,982	0,0231	43,2	Réunies en un seul groupe.
			Petit canal à Thun.			
4	0,737	0,000150	0,483	0,0218	45,8	

4e CATÉGORIE. — PAROIS EN TERRE.

Expériences de Dubuat (1782).

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	0,512	0,0000362	0,137	0,0314	31,9	Canal du Jard. — 1er groupe.
2	0,592	0,0000362	0,146	0,0317	31,5	Canal du Jard. — 1er groupe.
3	0,625	0,0000458	0,185	0,0289	34,6	Canal du Jard. — 1er groupe.
4	0,787	0,0000651	0,326	0,0220	45,5	Canal du Jard. — 1er groupe.

NUMÉRO de l'expérience	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
			Expériences de Dubuat (1782) (*suite*).			
1	1,472	0,0000303	0,275	0,0243	41,2	Rivière de Hayne. — 2e groupe.
2	1,498	0,0001653	0,730	0,0216	46,4	
3	1,749	0,0001559	0,629	0,0263	38,1	
4	1,776	0,0000279	0,333	0,0211	47,3	
			Expériences de Funk sur le Weser (1803-1806).			
1	0,685	0,0004500	0,772	0,0227	44,0	1er groupe, en excluant les expériences n°s 1 et 3, qui paraissent inexactes.
2	1,371	0,0005032	1,035	0,0254	39,4	
3	1,596	0,0004500	1,502	0,0178	56,0	
4	1,625	0,0005032	1,226	0,0233	42,9	
5	1,872	0,0005032	1,490	0,0206	48,6	
6	2,033	0,0005032	1,600	0,0200	50,0	
7	2,060	0,0005503	1,509	0,0223	44,8	
8	2,201	0,0001915	1,011	0,0203	49,3	2e groupe.
9	2,262	0,0005503	1,626	0,0217	46,1	
10	2,315	0,0005032	1,757	0,0194	51,5	
11	2,462	0,0003076	1,467	0,0188	53,3	
12	2,482	0,0005032	1,820	0,0194	51,5	
13	2,625	0,0005032	1,869	0,0194	51,4	3e groupe, en excluant l'expérience n° 14.
14	2,650	0,0002494	1,057	0,0243	41,1	
15	2,722	0,0005503	1,919	0,0202	49,6	
16	2,837	0,0005503	1,993	0,0198	50,4	
17	2,876	0,0002494	1,239	0,0216	46,3	
18	2,962	0,0005503	2,035	0,0198	50,4	
19	3,043	0,0002494	1,337	0,0206	48,5	4e groupe.
20	3,111	0,0003076	1,575	0,0196	50,9	
21	3,120	0,0005032	2,040	0,0194	51,5	
22	3,187	0,0005032	2,008	0,0200	50,1	
23	3,208	0,0002494	1,450	0,0195	51,3	
24	3,258	0,0005032	2,001	0,0193	51,9	5^e^ groupe.
25	3,412	0,0002494	1,506	0,0194	51,6	
26	3,440	0,0005032	2,119	0,0196	50,9	
27	3,566	0,0005503	2,294	0,0193	51,8	
28	3,681	0,0002494	1,597	0,0189	52,7	
29	3,802	0,0002494	1,608	0,0192	52,2	6e groupe.
30	3,862	0,0002494	1,663	0,0187	53,6	
31	3,933	0,0005503	2,416	0,0193	51,9	
32	4,047	0,0001915	1,417	0,0196	50,9	
33	4,069	0,0005503	2,409	0,0196	50,9	
34	4,308	0,0002494	1,735	0,0189	52,9	
			Expériences de Brunings sur les bras du Rhin (Hollande) (1790-1792).			
1	1,256	0,0002028	0,771	0,0207	48,3	Expériences douteuses.
2	2,085	0,0001717	1,274	0,0149	67,3	
3	2,215	0,0001492	0,917	0,0198	50,5	1er groupe.
4	2,350	0,0001717	0,975	0,0206	48,6	
5	2,639	0,0002201	1,122	0,0215	46,6	
6	2,792	0,0001492	1,039	0,0196	50,9	
7	2,855	0,0002028	1,225	0,0196	50,9	
8	2,994	0,0001321	1,092	0,0182	54,9	
9	3,128	0,0001256	0,938	0,0211	47,5	2^e^ groupe.
10	3,558	0,0001256	1,293	0,0163	61,2	
11	3,701	0,0001256	1,218	0,0177	56,5	
12	3,793	0,0001105	0,918	0,0223	44,8	
13	3,805	0,0002201	1,474	0,0196	51,0	
14	4,965	0,0001321	1,304	0,0196	50,9	3e groupe.
15	5,106	0,0001105	1,210	0,0196	51,0	
16	5,181	0,0001256	1,299	0,0196	51,0	

Tauber (1867).

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	0,506	0,0020	1,188	0,0268	37,3	1er groupe.
2	0,520	0,0019	1,155	0,0272	36,7	
3	0,861	0,0002	0,612	0,0214	46,7	2e groupe.

Canal du Gange. — Pont-canal de Solani (1880).

Les numéros inscrits dans la colonne d'observations sont ceux des séries rapportées dans l'ouvrage de M. Allan Cunningham; les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre des opérations de chaque série.

1° Aqueduc de droite.

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	1,042	0,000195	0,741	0,0192	52,0	124 (1) — 1er groupe.
2	1,231	0,000242	0,913	0,0189	52,9	122 (6)
3	1,527	0,000240	1,045	0,0183	54,6	121 (2)
4	1,653	0,000245	1,140	0,0176	56,7	119 (7) — 2e groupe.
5	1,786	0,000225	1,100	0,0182	54,9	118 (4)
6	1,875	0,000220	1,119	0,0182	55,1	117 (2)
7	1,951	0,000207	1,097	0,0183	54,6	116 (5)
8	2,060	0,000205	1,137	0,0181	55,3	113-114-115 (6) — 3e groupe.
9	2,170	0,000204	1,158	0,0182	55,0	112 (3)
10	2,265	0,000193	1,180	0,0177	56,4	111 (8)
11	2,328	0,000193	1,177	0,0180	55,5	110 (12)
12	2,366	0,000193	1,197	0,0179	56,0	109 (10)
13	2,426	0,000190	1,237	0,0174	57,6	108 (10)

2° Aqueduc de gauche.

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	1,960	0,000225	1,055	0,0199	50,2	107 (4) — 4e groupe.
2	2,076	0,000206	1,064	0,0195	51,4	106 (3)
3	2,198	0,000222	1,128	0,0196	51,1	105 (2)
4	2,329	0,000207	1,180	0,0186	53,7	103 (4)
5	2,420	0,000189	1,237	0,0173	57,8	101 (3)

Coursiers de moulins à Freyberg (Bornemann) (1854-1859).

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	0,262	0,000520	0,457	0,0255	39,2	1er groupe.
2	0,288	0,000940	0,527	0,0312	32,0	
3	0,308	0,000490	0,488	0,0254	39,7	
4	0,378	0,000242	0,427	0,0224	44,6	2e groupe.
5	0,413	0,000120	0,271	0,0260	38,5	
6	0,416	0,000135	0,283	0,0264	37,7	

Expériences sur de petits cours d'eau en Suisse (Epper) (1885).

Coursiers de moulins à Kagiswyl.

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	0,317	0,001754	0,859	0,0274	36,4	Réunies en un seul groupe.
2	0,423	0,001255	0,957	0,0240	41,5	
3	0,430	0,001200	0,982	0,0231	43,2	

Petit canal à Thun.

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
4	0,737	0,000150	0,483	0,0218	45,8	

4e CATÉGORIE. — PAROIS EN TERRE.

Expériences de Dubuat (1782).

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	0,512	0,0000362	0,137	0,0314	31,9	Canal du Jard. — 1er groupe.
2	0,592	0,0000362	0,146	0,0317	31,5	
3	0,625	0,0000458	0,185	0,0289	34,6	
4	0,787	0,0000651	0,326	0,0220	45,5	

Expériences de Dubuat (1782) (*suite*).

UMÉRO de ÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	1,472	0,0000303	0,275	0,0243	41,2	
2	1,498	0,0001653	0,730	0,0216	46,4	Rivière de Hayne. — 2ᵉ groupe.
3	1,749	0,0001559	0,629	0,0263	38,1	
4	1,776	0,0000279	0,333	0,0211	47,3	

Expériences de Funk sur le Weser (1803-1806).

UMÉRO de ÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	0,685	0,0004500	0,772	0,0227	44,0	
2	1,371	0,0005032	1,035	0,0254	39,4	
3	1,596	0,0004500	1,502	0,0178	56,0	
4	1,625	0,0005032	1,226	0,0233	42,9	1ᵉʳ groupe, en excluant les expériences nᵒˢ 1 et 3, qui paraissent inexactes.
5	1,872	0,0005032	1,490	0,0206	48,6	
6	2,033	0,0005032	1,600	0,0200	50,0	
7	2,060	0,0005503	1,509	0,0223	44,8	
8	2,201	0,0001915	1,011	0,0203	49,3	
9	2,262	0,0005503	1,626	0,0217	46,1	
10	2,315	0,0005032	1,757	0,0194	51,5	2ᵉ groupe.
11	2,462	0,0003076	1,467	0,0188	53,3	
12	2,482	0,0005032	1,820	0,0194	51,5	
13	2,625	0,0005032	1,869	0,0194	51,4	
14	2,650	0,0002494	1,057	0,0243	41,1	
15	2,722	0,0005503	1,919	0,0202	49,6	3ᵉ groupe, en excluant l'expérience nᵒ 14.
16	2,837	0,0005503	1,993	0.0198	50,4	
17	2,876	0,0002494	1,239	0,0216	46,3	
18	2,962	0,0005503	2,035	0,0198	50,4	
19	3,043	0,0002494	1,337	0,0206	48,5	
20	3,111	0,0003076	1,575	0,0196	50,9	
21	3,120	0,0005032	2,040	0,0194	51,5	4ᵉ groupe.
22	3,187	0,0005032	2,008	0,0200	50,1	
23	3,208	0,0002494	1,450	0,0195	51,3	
24	3,258	0,0005032	2,001	0,0193	51,9	
25	3,412	0,0002494	1,506	0,0194	51,6	
26	3,440	0,0005032	2,119	0,0196	50,9	5ᵉ groupe.
27	3,566	0,0005503	2,294	0,0193	51,8	
28	3,681	0,0002494	1,597	0,0189	52,7	
29	3,802	0,0002494	1,608	0,0192	52,2	
30	3,862	0,0002494	1,663	0,0187	53,6	
31	3,933	0,0005503	2,416	0,0193	51,9	
32	4,047	0,0001915	1,417	0,0196	50,9	6ᵉ groupe.
33	4,069	0,0005503	2,409	0,0196	50,9	
34	4,308	0,0002494	1,735	0,0189	52,9	

Expériences de Brunings sur les bras du Rhin (Hollande) (1790-1792).

UMÉRO de ÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
1	1,256	0,0002028	0,771	0,0207	48,3	Expériences douteuses.
2	2,085	0,0001717	1,274	0,0149	67,3	
3	2,215	0,0001492	0,917	0,0198	50,5	
4	2,350	0,0001717	0,975	0,0206	48,6	
5	2,639	0,0002201	1,122	0,0215	46,6	1ᵉʳ groupe.
6	2,792	0,0001492	1,039	0,0196	50,9	
7	2,855	0,0002028	1,225	0,0196	50,9	
8	2,994	0,0001321	1,092	0,0182	54,9	
9	3,128	0,0001256	0,938	0,0211	47;5	
10	3,558	0.0001256	1,293	0,0163	61,2	
11	3,701	0,0001256	1,218	0,0177	56,5	2ᵉ groupe.
12	3,793	0,0001105	0,918	0,0223	44,8	
13	3,805	0,0002201	1,474	0,0196	51,0	
14	4,965	0,0001321	1,304	0,0196	50,9	
15	5,106	0,0001105	1,210	0.0196	51,0	3ᵉ groupe.
16	5,181	0,0001256	1,299	0,0196	51,0	

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
Expériences de Krayenhoff sur les bras du Rhin (Hollande) (1812).						
1	1,808	0,0001247	0,845	0,0178	56,3	Expérience douteuse.
2	2,311	0,0001264	0,889	0,0192	52,0	Réunies en un seul groupe en excluant les ex[illegible]riences n°s 1 et 3 signalées comme douteuses.
3	2,671	0,0001264	1,180	0,0156	64,2	
4	3,378	0,0001150	0,965	0,0204	49,0	
5	3,414	0,0001264	0,999	0,0208	48,1	
6	4,150	0,0001150	1,077	0,0203	49,3	
7	5,034	0,0001150	1,090	0,0221	45,3	
Seine à Paris (1851-1852).						
1	1,726	0,000127	0,638	0,0232	43,1	Expériences qui paraissent renfermer [illegible] anomalies.
2	2,159	0,000133	0,690	0,0246	40,7	
3	2,569	0,000135	0,737	0,0253	39,6	
4	2,888	0,000140	1,027	0,0195	51,1	1er groupe.
5	3,328	0,000140	1,140	0,0189	52,8	
6	3,714	0,000140	1,163	0,0196	51,0	
7	4,419	0,000140	1,290	0,0193	51,9	
8	4,578	0,000140	1,375	0,0184	54,3	2e groupe.
9	4,855	0,000172	1,427	0,0202	49,4	
10	5,135	0,000131	1,463	0,0177	56,4	
11	5,604	0,000103	1,429	0,0168	59,5	
Seine à Poissy, Triel et Meulan (1852-1853).						
1	2,164	0,000090	0,704	0,0198	50,4	Meulan. — 1er groupe.
2	2,340	0,000087	0,705	0,0202	49,4	
3	3,426	0,000057	0,720	2,0194	51,5	Triel. — 2e groupe.
4	3,788	0,000060	0,719	0,0210	47,7	
5	4,136	0,000050	0,723	0,0199	50,2	Poissy. — 3e groupe.
6	4,328	0,000054	0,791	0,0193	51,7	
7	4,835	0,000062	0,887	0,0195	51,2	
8	5,134	0,000067	0,945	0,0196	51,0	
9	5,445	0,000075	1,015	0,0199	50,2	
Saône (1858-1859).						
1	1,182	0,00004	0,172	0,0400	25,0	Les trois premières expériences ne paraissent [illegible] exactes (Pentes et vitesses très faibles et diff[illegible] à évaluer).
2	1,454	0,00004	0,248	0,0308	32,5	
3	2,151	0,00004	0,301	0,0303	32,4	
4	2,720	0,00004	0,488	0,0214	46,8	1er groupe.
5	3,314	0,00004	0,565	0,0204	49,0	
6	3,539	0,00004	0,582	0,0205	48,8	
7	3,598	0,00004	0,592	0,0203	49,3	
8	4,044	0,00004	0,687	0,0185	54,0	2e groupe.
9	4,463	0,00004	0,722	0,0185	54,0	
10	4,825	0,00004	0,725	0,0192	52,2	
Rhin à Germersheim (1866).						
1	3,308	0,000247	1,540	0,0186	53,9	
Rhin à Spire.						
1	2,964	0,000112	0,887	0,0205	48,7	
Salzach (1857).						
1	2,137	0,00036	1,260	0,0220	45,4	
Lauter-Canal près Neuburg sur le Rhin.						
1	0,554	0,000364	0,642	0,0299	33,5	
Saalach (1859).						
1	0,411	0,001136	0,601	0,0360	27,8	Réunies en un seul groupe.
2	0,433	0,001036	0,658	0,0322	31,0	

NUMÉRO de l'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
			Linth-Canal.			
1	1,567	0,00029	1,041	0,0205	48,9	
2	1,808	0,00030	1,170	0,0200	50,3	1er groupe.
3	1,974	0,00031	1,266	0,0195	51,2	
4	2,169	0,00032	1,347	0,0196	51,1	
5	2,291	0,00033	1,449	0,0190	52,6	
6	2,466	0,00034	1,500	0,0193	51,8	
7	2,525	0,00034	1,542	0,0190	52,6	2e groupe.
8	2,626	0,00035	1,593	0,0190	52,5	
9	2,704	0,00036	1,644	0,0190	52,7	
10	2,799	0,00037	1,686	0,0191	52,4	
			Canal Cavour (1892).			
1	1,575	0,00029	0,945	0,0226	44,2	
2	1,779	0,00029	1,001	0,0227	44,1	1er groupe. — En amont du pont-aqueduc du Cervo.
3	2,228	0,00029	1,128	0,0225	44,4	
1	1,446	0,00033	0,930	0,0235	42,6	
2	1,608	0,00033	0,994	0,0232	43,1	2e groupe. — En aval du siphon de la Sésia.
3	1,714	0,00033	1,038	0,0229	43,6	
			Tibre à Rome (1881).			
1	4,964	0,00008	1,180	0,0169	59,2	
			Pô (1878).			
			A Fossa d'Albero.			
1	2,81	0,000117	0,757	0,0239	41,7	
2	2,92	0,000119	0,801	0,0233	43,0	1er groupe. — Expériences en basses eaux.
3	3,14	0,000120	0,890	0,0218	45,8	
4	3,35	0,000120	0,967	0,0207	48,2	
5	2,97	0,000103	0,997	0,0175	57,0	
6	3,62	0,000101	1,006	0,0190	52,6	2e groupe. — Expériences en hautes eaux.
7	3,81	0,000093	1,034	0,0182	55,0	
8	4,30	0,000091	1,030	0,0192	52,1	
			A Porto-Morone.			
9	2,61	0,000165	0,928	0,0224	44,7	
			Expériences d'Epper sur divers cours d'eau en Suisse.			
			***Aa* (1885).**			
1	0,594	0,0039	1,517	0,0317	31,5	A Kermatt.
2	1,036	0,00064	1,066	0,0242	41,4	A Sarnen.
			***Rhône à la porte de Scex* (1887).**			
1	0,961	0,001000	1,275	0,0243	41,1	
			***Tessin à Giubiasco* (1883).**			
1	0,903	0,000254	0,507	0,0299	33,5	
			***Rhin près de la chute* (1887).**			
1	2,052	0,000157	0,904	0,0198	50,4	En amont, à Flurlingen } Réunies en un seul groupe.
2	2,134	0,000162	0,864	0,0215	46,5	En aval, à Nohl
			Elbe à Tetschen (1877-1879).			
1	1,070	0,00038	0,759	0,0266	37,6	
2	1,579	0,00037	1,140	0,0212	47,2	
3	2,368	0,00041	1,509	0,0206	48,4	

Canal du Gange.

Les numéros inscrits dans la colonne d'observations sont ceux des séries rapportées dans l'ouvrage [illegible] M. Allan Cunningham ; les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre des opérations de chaque série.

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS		
						1re Section. — A Solani.		
1	1,646	0,000155	0,732	0,0218	45,8	166 (1)	1er groupe.	
2	1,743	0,000160	0,765	0,0219	45,7	165 (4)		
3	1,887	0,000171	0,930	0,0193	51,8	163 (6)		
4	2,070	0,000221	1,033	0,0207	48,3	162 (5)		
5	2,170	0,000217	0,948	0,0229	43,7	161 (5)		
6	2,213	0,000214	0,981	0,0222	45,1	160 (6)	2e groupe.	Expériences en hautes [illegible] Les expériences en basses eaux paraissant [illegible] régulières ne sont [illegible] rapportées.
7	2,335	0,000243	1,003	0,0238	42,1	159 (7)		
8	2,374	0,000215	1,045	0,0216	46,3	158 (2)		
9	2,440	0,000212	1,009	0,0225	44,4	157 (4)		
10	2,515	0,000223	0,994	0,0238	42,0	156 (1)		
11	2,573	0,000217	1,088	0,0217	46,0	155 (6)		
12	2,649	0,000229	1,130	0,0218	45,9	154 (3)		
13	2,719	0,000227	1,122	0,0221	45,2	153 (5)	3e groupe.	
14	2,804	0,000205	1,167	0,0205	48,7	152 (10)		
15	2,847	0,000227	1,225	0,0208	48,2	151 (5)		
						2e Section. — A Jaoli.		
1	1,926	0,000140	0,802	0,0205	48,8	217 (6)		
2	1,990	0,000144	0,823	0,0206	48,6	216 (9)		
3	2,070	0,000145	0,853	0,0203	49,2	215 (10)		
4	2,149	0,000146	0,856	0,0207	48,3	214 (8)	Réunies en un seul groupe.	
5	2,201	0,000148	0,875	0,0206	48,5	213 (7)		
6	2,274	0,000160	0,896	0,0213	47,0	212 (6)		
7	2,384	0,000174	0,902	0,0226	44,2	211 (9)		
						3e Section. — A Belra.		
1	2,316	0,000200	0,890	0,0241	41,4	206 (12)		
2	2,426	0,000208	0,936	0,0240	41,7	207 (6)		
3	2,502	0,000198	0,917	0,0243	41,2	204 (14)	Réunies en un seul groupe.	
4	2,582	0,000191	0,942	0,0236	42,4	203 (9)		
5	2,658	0,000200	0,951	0,0243	41,2	202 (7)		
6	2,749	0,000191	0,966	0,0237	42,2	201 (5)		
						4e Section. — A Kamhera.		
1	1,241	0,000306	0,826	0,0236	42,4	225 (14)		
2	1,274	0,000304	0,835	0,0236	42,4	224 (12)		
3	1,332	0,000297	0,850	0,0234	42,7	223 (11)	Réunies en un seul groupe.	
4	1,372	0,000291	0,860	0,0233	43,0	222 (15)		
5	1,475	0,000295	0,872	0,0239	41,8	221 (4)		
						5e Section. — Au 15e mille.		
1	2,444	0,000231	1,198	0,0198	50,4	194 (2)		
2	2,543	0,000225	1,188	0,0201	49,7	193-197 (4)	Réunies en un seul groupe.	
3	2,639	0,000228	1,227	0,0200	50,0	192-196 (9)		
4	2,899	0,000240	1,268	0,0208	48,1	191 (1)		
						Missouri à Saint-Charles (1879).		
1	1,722	0,0001137	0,917	0,0153	65,5	Expériences qui paraissent renfermer quelques anomalies.		
2	2,073	0,0001109	0,905	0,0168	59,7			
3	2,353	0,0001558	0,948	0,0202	49,6			
4-5-6-7	2,463	0,0001174	0,968	0,0176	56,9	1er groupe.		
8-9	2,553	0,0001164	0,892	0,0193	51,8			

UMÉRO de PÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
Missouri à Saint-Charles (1879) (*suite*).						
10	3,261	0,0001183	1,106	0,0178	56,3	2ᵉ groupe.
1 à 15	3,511	0,0001585	1,234	0,0191	52,3	
16	3,688	0,0001518	1,206	0,0196	51,1	
7 à 19	3,820	0,0001662	1,356	0,0186	53,8	
0 à 22	3,962	0,0001782	1,335	0,0199	50,3	
3 à 24	4,100	0,0002370	1,694	0,0184	54,3	3ᵉ groupe.
5 à 26	4,267	0,0001985	1,579	0,0184	54,3	
7 à 32	4,476	0,0002078	1,626	0,0188	53,3	
3 à 35	4,694	0,0001714	1,536	0,0185	54,1	
36	5,090	0,0002006	1,698	0,0188	53,1	4ᵉ groupe.
37-38	5,410	0,0002130	1,884	0,0180	55,5	

Expériences sur le Mississipi et l'Irrawaddi.

Voir les tableaux dans le Mémoire.

5ᵉ CATÉGORIE.

UMÉRO de PÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
Rhin à Bâle (1867).						
1	2,100	0,001218	1,945	0,0260	38,5	
Escher-Canal.						
1	1,144	0,003	1,938	0,0302	33,1	Réunies en un seul groupe.
2	1,346	0,003	2,340	0,0272	36,8	
Simmen-Canal (1867).						
1	0,404	0,0170	1,827	0,0454	22,0	1ᵉʳ groupe.
2	0,413	0,0116	1,674	0,0414	24,2	
3	0,554	0,0065	1,500	0,0400	25,0	2ᵉ groupe.
4	0,570	0,0070	1,638	0,0386	25,9	
Canal collecteur du lac Fucino (1894).						
1	0,650	0,000143	0,260	0,0371	27,0	1ᵉʳ groupe.
2	0,704	0,000143	0,310	0,0324	30,8	
3	0,866	0,000143	0,367	0,0304	32,9	2ᵉ groupe.
4	0,966	0,000143	0,370	0,0318	31,5	
Salzach, de Bergheim à Wildshut (1855).						
1	1,070	0,001550	1,250	0,0326	30,7	1ᵉʳ groupe.
2	1,077	0,000940	1,061	0,0300	33,3	
3	1,123	0,000662	1,083	0,0252	39,7	
4	1,180	0,001796	1,356	0,0339	29,5	
5	1,280	0,000940	1,230	0,0282	85,5	2ᵉ groupe.
6	1,298	0,001796	1,570	0,0308	32,5	
7	1,416	0,001550	1,424	0,0329	30,4	
8	2,252	0,001120	1,764	0,0285	35,1	3ᵉ groupe.
Rigole d'alimentation du canal Chesapeake-Ohio (1859).						
1	1,116	0,000698	0,830	0,0337	29,7	Réunies en un seul groupe.
2	1,128	0,000698	0,924	0,0304	32,9	
Coursiers de moulins à Freyberg (Bornemann) (1854-1859).						
1	0,358	0,000686	0,347	0,0452	22,1	Réunies en un seul groupe.
2	0,370	0,001093	0,378	0,0532	18,8	

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	R	I	U	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$	$\frac{U}{\sqrt{RI}}$	OBSERVATIONS
Expériences de la Nicca (1830-1839).						
Rhin (Domleschgerthal).						
1	0,077	0,00577	0,41	0,0513	19,5	
2	0,322	0,00643	1,07	0,0425	23,5	
3	0,326	0,00643	1,38	0,0332	30,1	
4	0,338	0,00643	1,44	0,0324	30,9	
5	0,400	0,00643	1,59	0,0319	31,4	
6	0,399	0,00643	1,63	0,0311	32,2	
7	0,403	0,00769	0,95	0,0586	17,1	
8	0,410	0,00769	0,96	0,0585	17,1	
9	0,600	0,00769	1,05	0,0647	16,9	
10	0,744	0,00769	1,20	0,0630	15,9	
11	0,396	0,00796	1,56	0,0360	27,8	
12	0,591	0,00796	1,62	0,0423	23,6	
13	0,740	0,00796	1,65	0,0465	21,5	
14	0,899	0,00755	1,79	0,0460	21,7	
15	0,899	0,00796	1,88	0,0450	22,2	
16	0,899	0,00775	1,83	0,0456	21,9	
17	0,958	0,00796	1,95	0,0448	22,3	
18	1,043	0,00796	2,23	0,0409	24,5	
19	0,668	0,00703	1,90	0,0361	27,7	
20	0,933	0,00703	2,27	0,0357	28,0	
Rhin (Rheinwald).						
1	0,127	0,0142	0,68	0,0624	16,0	
2	0,233	0,0142	1,42	0,0405	24,7	
3	0,369	0,0142	1,55	0,0467	21,4	
Petit-Canal (Marmels).						
1	0,705	0,0005	0,57	0,0330	30,3	
2	0,705	0,0005	0,50	0,0376	26,6	
Plessur à Coire.						
1	0,380	0,00965	1,88	0,0322	31,0	
2	0,712	0,00965	3,07	0,0270	37,0	
3	1,052	0,00965	2,79	0,0365	27,4	
4	1,490	0,00965	4,22	0,0284	35,2	
5	1,094	0,00965	4,08	0,0252	39,6	
6	1,095	0,00965	4,23	0,0243	41,1	
7	1,310	0,00965	4,02	0,0279	35,8	
Mœsa (Misox).						
1	0,301	0,01187	0,97	0,0617	16,2	
2	0,364	0,01187	1,62	0,0406	24,6	
3	0,464	0,01187	2,30	0,0323	31,0	

N° 42

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE
DES COTES DE FRANCE
ET
LE PHARE D'ECKMUHL

Par M. de JOLY, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Préambule.

La récente inauguration du phare d'Eckmühl, construit à la pointe de Penmarc'h, marque une date importante dans l'histoire de l'éclairage électrique des côtes de France.

Il semble intéressant de rappeler à cette occasion l'origine de cet éclairage et les phases qui ont marqué son développement, en résumant les diverses publications faites par le service des Phares à l'occasion des Expositions universelles de Paris, en 1867, 1878 et 1889 et de Chicago en 1893, et en les complétant par l'exposé des progrès réalisés en dernier lieu.

CHAPITRE I.

Organisation primitive de l'éclairage électrique des Côtes.

Premières applications de la lumière électrique à l'éclairage des Phares. — L'emploi de la lumière de l'arc électrique à l'éclairage des phares n'est devenu possible qu'à partir du

jour où l'invention des machines magnéto électriques a permis la production industrielle du courant. Dès 1860, le Service central des Phares français entreprit des expériences au moyen de la première machine à courants alternatifs de l'*Alliance*. Elles aboutirent à l'adoption de la lumière électrique pour les deux phares jumeaux de La Hève (*). Le feu sud fut transformé en 1863, et celui du nord en 1865. Les appareils optiques employés étaient des appareils lenticulaires de feu fixe de 0m,15 de distance focale, dont les faibles dimensions paraissaient appropriées à celles de la nouvelle source lumineuse constituée par des régulateurs à arc de Serrin.

Quelques mois avant la transformation du feu sud de La Hève (1862), la Corporation de Trinity-house, chargée du Service des Phares des côtes d'Angleterre, avait, sur les conseils de Faraday, adopté l'éclairage électrique pour le feu fixe du phare de Dungeness, où furent installées des machines magnéto-électriques de Holmes munies de commutateurs pour redresser les courants.

Les puissances lumineuses obtenues à Dungeness et à La Hève étaient faibles et ne dépassaient pas celle de 6.000 becs carcel que donnent, moyennant l'emploi de becs à cinq mèches et de l'huile minérale, les anciens appareils lenticulaires de Fresnel, à 8 panneaux, avec éclats prolongés de minute en minute.

Le Service des Phares français fit, en 1869, une seconde application de l'éclairage électrique au phare du cap Gris-Nez, qui fut le premier feu électrique à éclats. Il fut muni à cet effet d'un nouvel appareil optique composé d'une lentille cylindrique de feu fixe et d'un tambour tournant de 16 lentilles verticales donnant des éclats toutes les 30 secondes.

(*) *Annales*, 1870 (*Note sur les phares électriques de La Hève par* M. Quinette de Rochemont, ingénieur des Ponts et Chaussées).

Les années qui suivirent 1870 ne furent marquées, tant en France qu'à l'Étranger, que par des applications isolées de la lumière électrique à l'éclairage des phares ; aucune vue d'ensemble ne présida à ces applications.

Programme de 1882. — La loi du 3 avril 1882, sanctionnant un programme (*) proposé par M. l'Inspecteur général des Ponts et Chaussées Allard, alors Chef du Service central des Phares, organisa pour la première fois l'éclairage électrique du littoral français.

Cette loi comportait la création de 46 phares électriques distribués à peu près uniformément sur la côte, de manière à protéger ses abords par une ceinture lumineuse ininterrompue.

Distribution des phares électriques sur les côtes. — Ce système d'éclairage reposait sur les mêmes principes que ceux qu'avait posés la Commission des Phares en 1825, lors du premier établissement de l'éclairage méthodique des côtes de France, et qui peuvent se résumer dans cette phrase du rapport de l'amiral de Rossel à la commission : « Lorsque, dans les temps ordinaires, un vaisseau qui suit « la côte commence à perdre de vue le phare de grand « atterrage dont il s'éloigne, il doit voir celui dont il se « rapproche. »

L'éclairage à l'huile, établi à la suite de l'invention des appareils lenticulaires par Fresnel et conformément au programme de l'amiral de Rossel, remplissait cette condition dans les « temps ordinaires », c'est-à-dire pour un état moyen de la transparence atmosphérique, correspondant à la moitié de l'année. La création des 46 phares

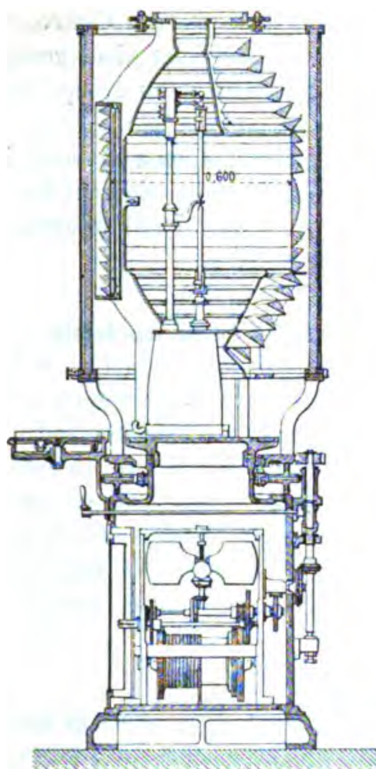
(*) *Mémoire sur les phares électriques, comprenant le programme de l'éclairage électrique des côtes de France, complété par des signaux sonores à vapeur*, par M. E. Allard. — Imprimerie nationale, 1881.

électriques prévus au programme de M. Allard devait permettre de réaliser la même protection lumineuse pendant les 10/12 de l'année.

Machines motrices et électriques. — Les 46 phares devaient être munis uniformément de moteurs à vapeur de la force nominale de 12 chevaux, actionnant par courroies, à la vitesse de 430 tours par minute, des machines magnéto-électriques de Méritens. L'intensité des courants alternatifs produits en régime normal, avec circuit fermé sur un régulateur Serrin muni de charbons de $0^m,016$ de diamètre, atteignait 50 ampères. La force électro-motrice s'élevait à 40 volts.

Appareils optiques. — Toutes les optiques devaient être établies d'après le même système et se composer d'un appareil à feu fixe de $0^m,60$ de diamètre intérieur, autour duquel tournait un tambour formé par 24 lentilles à éléments verticaux. Ces lentilles présentaient une divergence horizontale artificielle, calculée de manière à répartir chacune la lumière émergente en un faisceau de 3° d'amplitude. On avait aussi jugé nécessaire d'augmenter artificiellement la divergence verticale, afin d'éclairer les abords du phare, et pour cela on avait convenablement dévié les anneaux à réflexion totale, constituant la couronne inférieure de l'optique de feu fixe.

Caractères des feux électriques. — Le caractère admis pour les feux électriques était celui qu'on désignait alors en France sous le nom de scintillant et qui consiste en des éclats rapides se succédant toutes les cinq secondes lorsqu'ils se reproduisent à des intervalles égaux ; quand leur succession est périodique de manière à constituer des groupes de deux, trois ou quatre éclats, les éclats d'un même groupe se reproduisent après des intervalles



Coupe verticale suivant AB.

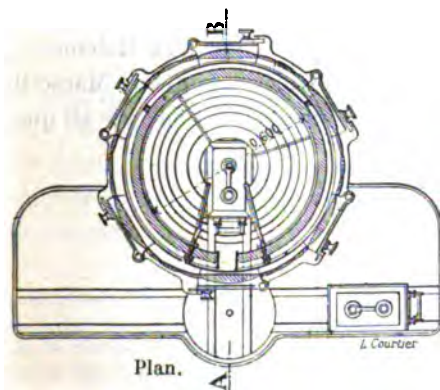


Fig. 1. — Appareil pour feu électrique. — Type 1882.

de temps qui varient d'un phare à l'autre, entre deux et trois secondes ; le dernier éclat d'un groupe est séparé du premier éclat appartenant au groupe suivant par un intervalle de temps au moins triple.

Pour varier ces caractères, on a en outre dans plusieurs phares établi un éclat rouge séparant les groupes successifs. Les phares jumeaux, tels que ceux de la Canche, ont été munis de feux fixes.

Puissance lumineuse et durée des éclats. — D'après les prévisions de M. Allard, les éclats blancs des feux électriques scintillants devaient durer une seconde, chiffre au-dessous duquel il n'avait pas osé descendre, et posséder une puissance lumineuse maxima de 150.000 becs carcel. L'expérience a montré ultérieurement que la durée de ces éclats, donnés par des faisceaux non homogènes, ne dépassait pas 1/3 de seconde à la limite de la portée, et que leur puissance lumineuse atteignait seulement 90.000 becs carcel.

Premières applications du programme de 1882. — On commença l'application du programme de 1882 en transformant les quatre phares consécutifs de Dunkerque, Calais, Gris-Nez et la Canche. Deux autres phares électriques furent établis vers la même époque aux Baleines (pointe nord de l'île de Ré) et à Planier (abords de Marseille). Soit, au total, six phares de ce système sur les 46 que comportait le projet primitif.

CHAPITRE II.

Modification du premier système d'éclairage électrique.

Enquête nautique de 1886. — En 1886, on décida qu'avant de poursuivre plus avant les applications du programme de 1882, il convenait de faire une enquête sur les résultats déjà obtenus. Elle fut confiée à une commission nautique spéciale (*), dont les propositions ont eu pour conséquence la réforme du programme primitivement admis et l'adoption des nouveaux principes maintenant suivis dans l'éclairage électrique.

Nouvelle répartition de l'éclairage électrique. — Il a été reconnu, en premier lieu, qu'il n'était pas nécessaire de répartir l'éclairage électrique sur les côtes d'une manière uniforme, et de couvrir également ou indistinctement toutes les parties du littoral ainsi qu'on l'avait fait antérieurement.

Le navigateur n'atterrit pas au hasard, dans des parages indéterminés ; il suit, avec une précision toujours croissante, des routes fixées, et reconnaît sa position sur des points convenablement choisis pour se rendre au port de destination.

L'objectif principal de l'éclairage n'est donc pas de couvrir la côte ou d'indiquer ses abords au marin dévoyé, mais bien de faciliter l'atterrissage sur les points où il doit se pratiquer et de signaler les routes suivies par la navigation maritime.

(*) Cette commission était composée ainsi qu'il suit: MM. Fleuriais, contre-amiral ; Lefebvre, capitaine de vaisseau ; Caspari, ingénieur hydrographe de la Marine, rapporteur ; Bourdelles, ingénieur en chef du Service central des Phares.

Dans cet ordre d'idées, c'est pour les feux de grand atterrage qu'il convient de réserver l'éclairage puissant de la lumière électrique et de faire les sacrifices pécuniaires importants que nécessitent son établissement et surtout son entretien. Par ailleurs l'éclairage à l'huile ou au gaz donne des indications suffisantes et permet de mettre dans une juste proportion les dépenses avec les services à rendre (*).

En conséquence, on a décidé d'ajourner la majeure partie des phares compris au programme de M. Allard et d'établir de nouveaux phares électriques seulement à Créac'h (Ouessant), Belle-Ile, Barfleur, île d'Yeu, La Coubre (embouchure de la Gironde) et Penmarc'h. Ces établissements, dont le dernier vient d'être inauguré, ont porté à 13 le nombre des phares électriques français.

Importance et utilité des 13 phares choisis pour recevoir l'éclairage électrique. — L'importance de ces 13 phares au point de vue nautique est loin d'être la même (Pl. 30).

Quelques-uns d'entre eux, établis avant 1886, ne sont pas à proprement parler des phares de grand atterrage : tels sont celui de Calais qui sert principalement à assurer les communications postales entre la France et l'Angleterre, celui de Dunkerque qui ne peut être utilisé pour l'atterrissage des navires venant de la mer du Nord que par temps clair et qui, en temps brumeux, n'est aperçu qu'après le feu flottant du « Ruytingen » mouillé au large des bancs de Flandre, celui des Baleines qui est placé à la pointe nord de l'île de Ré, alors que les navires à destination des Pertuis atterrissent presque toujours sur le phare de Chassiron à la pointe nord de l'île d'Oléron.

(*) La corporation de Trinity-house est arrivée aux mêmes conclusions dans le rapport qu'elle a publié en 1886, à la suite des expériences comparatives faites à South Foreland sur les éclairages à l'huile, au gaz et à l'électricité.

Trois autres des treize phares électriques sont justifiés par l'importance de la navigation en provenance ou à destination des ports du Havre et de Marseille. Les navires à destination du Havre venant de l'Atlantique atterrissent sur les îles Scilly ou sur Ouessant ; ceux qui sont dans ce dernier cas reconnaissent ensuite le phare des Casquets, ilots situés à l'ouest d'Aurigny. Le phare électrique de Barfleur est d'une grande utilité pour tous ces navires auxquels il sert de feu rectificatif avant la reconnaissance du phare électrique de La Hève. Le phare électrique de Planier n'est motivé que par le tonnage considérable du port de Marseille ; les atterrissages dans la Méditerranée sont en effet toujours faciles en raison des faibles distances à parcourir sans apercevoir la terre et de la transparence presque constante de l'atmosphère ; l'éclairage à l'huile ou au gaz suffit en règle générale pour les rendre sûrs.

Le phare électrique de Gris-Nez n'est pas, à proprement parler, un phare de grand atterrage ; mais il éclaire un atterrage secondaire d'importance capitale pour les navires venant de la mer du Nord ou de la Manche et cherchant le Pas-de-Calais. Le phare électrique de la Canche est l'auxiliaire dans le sud du phare de Gris-Nez et signale aux navigateurs une côte particulièrement dangereuse.

Restent comme phares électriques de grand atterrage proprement dits, celui de la Coubre pour les navires à destination de la Gironde, ceux de Belle-Ile et de l'île d'Yeu pour les navires à destination de la Loire ; celui de Créac'h d'Ouessant pour les navires à destination de la Manche, le plus important de tous à tous les points de vue (*) ; celui d'Eckmühl enfin situé sur la pointe de Penmarc'h.

(*) L'atterrage d'Ouessant tire une partie de sa grande importance des dangers tout spéciaux auxquels sont exposés les navires en provenance de l'Atlantique sud ou de la Méditerranée qui, ayant reconnu le cap Finistère, cherchent à doubler la pointe de Bretagne.

L'atterrage de Penmarc'h est fort peu utilisé par la marine marchande, mais il présente un grand intérêt pour la marine militaire ; il se trouve au droit de l'extrémité du fleuve de boue qui constitue le plateau de sondes caractéristique du golfe de Gascogne entre l'embouchure de la Gironde et l'extrémité de la Bretagne ; à ce titre, il peut rendre de grands services par temps brumeux.

Caractères des feux. — La commission d'enquête de 1886 avait posé en principe que le feu électrique, réduit au rôle de phare de grand atterrage, doit être scintillant et à éclats exclusivement blancs.

Les avantages de ce caractère, le mieux tranché de tous et le mieux défini jusqu'à la limite de la portée lumineuse, avaient été proclamés unanimement par les capitaines français et anglais consultés à Dunkerque, Calais et Boulogne. Les observations relevées en mer avaient, en outre, démontré, avec toute évidence, que ce caractère rendait facile la détermination des relèvements du feu à l'aide de l'alidade et du compas, aussi bien que celle des angles avec le cercle ou le sextant.

Durée d'apparition et de succession des éclats. — La commission a reconnu que, dans ces opérations, la durée des éclats est sans influence sur la valeur du caractère d'un feu : elle peut être réduite dans une mesure quelconque, et même au point de ne plus être appréciable pour le navigateur, à la condition toutefois que les éclats se reproduisent aussi fréquemment que possible et au moins toutes les cinq secondes en moyenne. On peut alors prendre, à un moment quelconque, un relèvement approché sur un premier éclat et le rectifier rapidement avec toute l'exactitude voulue sur ceux qui le suivent. Cette méthode a été jugée plus avantageuse à tous égards que l'ancien procédé consistant à prolonger la durée de l'éclat pendant tout le

temps nécessaire à la mesure d'un relèvement ou d'un angle, laquelle n'exige pas moins de cinq secondes.

Temps nécessaire à la perception intégrale d'un éclat. — D'autres raisons non moins importantes sont enfin à faire valoir à l'appui de la brièveté des éclats.

Les lois physiologiques (*) qui régissent la vision exigent que la durée des éclats se prolonge pendant un certain temps pour produire sur la rétine l'impression complète correspondant à leur intensité lumineuse. Quand ce temps est atteint, l'impression arrive à son maximum et devient égale à celle que déterminerait un feu fixe ayant l'intensité de l'éclat. Au-delà de ce temps, la lumière reste d'intensité constante, sa persistance est sans bénéfice, et son action se prolonge en pure perte.

Il faut donc et il suffit que la durée de l'éclat atteigne le temps voulu pour la perception intégrale et complète de son intensité lumineuse. Ce temps varie avec l'intensité lumineuse de l'éclat. Il est d'autant plus faible que cette intensité est plus grande. Ce qu'il importe dès lors de connaître pour le Service des Phares, c'est le temps nécessaire pour la perception intégrale de la lumière ayant le minimum d'intensité perceptible, telle que celle d'un phare à la limite de sa portée lumineuse. Ce temps correspond en vertu de la loi précédente au maximum de durée de l'éclat; en le réalisant on assure donc à cet éclat toute sa portée lumineuse, c'est-à-dire celle qu'aurait un feu fixe de même intensité.

Ce temps a été déterminé dans le laboratoire par divers expérimentateurs qui ont trouvé qu'il varie pour la lumière blanche entre 1/8 et 1/12 de seconde. Pour la pratique de la navigation, on peut l'évaluer en toute sécurité à 1/10 de seconde.

(*) Congrès maritime international de Londres, 1893. — *Mémoire sur les feux-éclairs et la perception physiologique des éclats instantanés*, par M. A. Blondel, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Phares de Créac'h, Belle-Ile et Barfleur. — Dès 1888, les idées qui précèdent ont été mises en pratique par M. Bourdelles, alors ingénieur en chef du Service central dans l'établissement des trois phares électriques de Créac'h, Belle-Ile et Barfleur, mais avec une certaine circonspection, toutefois, en ce qui concerne la durée des éclats.

Machines motrices et électriques. — Les phares de Créac'h, Belle-Ile et Barfleur ont été munis de moteurs à vapeur ou de moteurs à air chaud, actionnant par courroies et à la vitesse de 430 tours par minute, des machines magnéto-électriques de Méritens disposées de façon à réaliser avec la force électro-motrice de 40 volts, des courants de 25, 50 et 100 ampères, suivant la puissance lumineuse à produire d'après le degré de transparence atmosphérique. Les régulateurs Serrin comportent pour ces divers régimes des charbons ayant un diamètre de $0^m,010$, $0^m,016$ et $0^m,023$.

Appareils optiques. — Les optiques des trois phares sont identiques; elles ne comprennent plus de tambour de feu fixe, ni d'éléments verticaux, et sont composées uniquement de 12 lentilles annulaires dissymétriques, qui ont été disposées de manière à donner 6 groupes de deux éclats pendant une rotation de l'appareil. La durée des éclipses est environ de deux secondes et demie dans le groupe et de sept secondes et demie entre les groupes. Les optiques sont dépourvues de toute divergence artificielle tant horizontale que verticale ; elles sont bifocales, leurs parties dioptriques et catadioptriques ayant des foyers distincts correspondant aux parties incandescentes de chacun des charbons de la lampe électrique.

Quand ces charbons n'ont que $0^m,010$ de diamètre, la divergence naturelle minimum de chacun des panneaux de l'optique n'est que de $0°,6$, ce qui, pour une durée de

rotation de l'appareil de soixante secondes, correspond à une durée d'éclat de 1/10 de seconde à la limite de la portée lumineuse.

Avec les charbons de 0^m,016 à 0^m,023, les divergences naturelles augmentent et les durées d'éclat s'élèvent à 1/6 et à 4/10 de seconde. Ce dernier chiffre est supérieur à celui réalisé dans les appareils électriques de M. Allard; ceux-ci ayant donné toute satisfaction au point de vue du caractère et de la durée des éclats, on pouvait avoir l'espérance que les nouveaux feux ne leur seraient pas inférieurs, en les éclairant avec des charbons d'un diamètre convenable. Les dispositions prévues permettaient, d'autre part, d'expérimenter pratiquement et sans

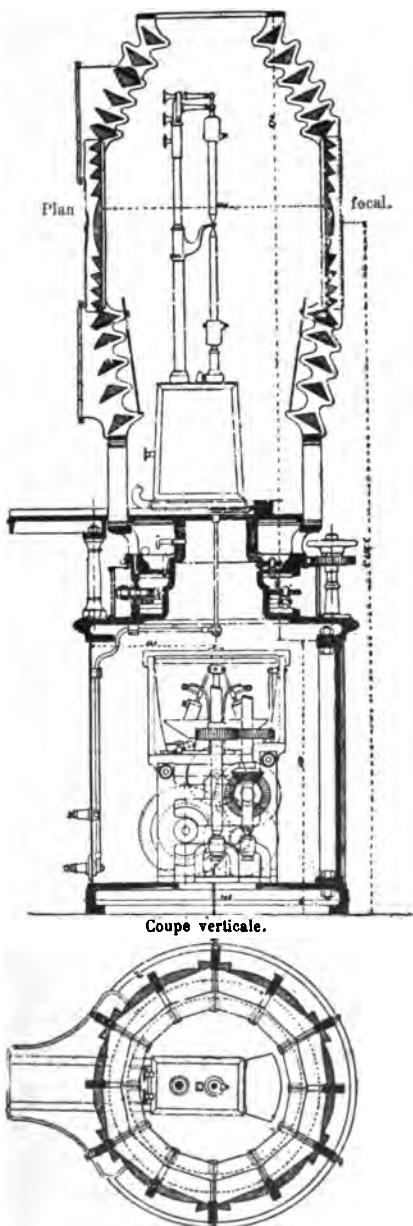


Fig. 2. — Appareil pour feu électrique. — Type 1888.

rien risquer la réduction de la durée des éclats au temps minimum de 1/10 de seconde avec l'emploi des charbons de $0^m,010$. Elles donnaient ainsi les moyens de contrôler, par des observations multipliées sur la visibilité des nouveaux feux, les mesures discutables, et d'ailleurs un peu incertaines, relevées dans les laboratoires.

Les observations commencées en 1888 sur le phare de Créac'h d'Ouessant, continuées en 1890 sur celui de Belle-Ile, ont été entièrement concluantes. La brièveté des éclats, même au régime de 25 ampères n'a donné lieu à aucune observation de la part des marins. On a constaté qu'en fait l'observateur prévenu et le plus attentif ne pouvait reconnaître, quelle que fut sa distance, la variation de durée des éclats correspondant aux divers régimes électriques.

Puissance lumineuse. — Les observations faites à la mer sur les phares de Créac'h et de Belle-Ile ont, en outre, fait pleinement ressortir la supériorité des feux électriques de ce type sur ceux du type de 1882 au point de vue de la puissance lumineuse. Cette supériorité avait été déjà mise en évidence par des mesures photométriques faites sur la tour Eiffel, à 600 mètres de distance de l'appareil optique de Belle-Ile, qui était placé dans la lanterne du dépôt des Phares. Les puissances lumineuses mesurées ont été respectivement de 350.000, 550.000 et 650.000 becs, pour les régimes de 25,50 et 100 ampères sous 40 volts.

A la mer, on a constaté que les feux électriques de Créac'h, Belle-Ile et Barfleur sont fréquemment visibles au-delà de leur portée géographique. Le feu direct disparaît, il est vrai, dès qu'il passe au-dessous de l'horizon, mais l'observateur continue à voir les faisceaux qui tournent au-dessus de lui et qu'un effet de perspective fait apparaître comme rayonnant du phare, dont le gise-

ment reste ainsi nettement indiqué pour guider le navigateur. Cet avantage considérable, surtout pour les feux de grand atterrage, est tout à fait décisif. Il justifie pleinement les dispositions tendant à accroître autant que possible la puissance lumineuse des feux électriques.

CHAPITRE III.

Feux-éclairs électriques.

Principe des feux-éclairs. — Des dispositions de cette nature ont été adoptées pour les phares électriques établis ou transformés depuis 1893. Elles ont consisté dans l'application intégrale à ces phares du système des feux-éclairs, imaginé par M. l'Inspecteur général Bourdelles et fondé sur les considérations qui ont été exposées précédemment.

Ce système, applicable aux feux à l'huile ou au gaz, comme aux feux électriques, consiste à faire rendre à un appareil d'éclairage d'ordre donné son maximum d'effet utile, en réduisant au minimum le nombre des panneaux lenticulaires, tout en assurant aux éclats une durée d'environ 1/10 de seconde, et en les faisant se succéder moyennement toutes les cinq secondes.

Système de rotation. — Cette rapidité de succession des éclats exige que l'appareil optique d'un feu-éclair, composé d'un, deux ou quatre panneaux lenticulaires, effectue sa révolution en cinq, dix ou vingt secondes. Ces vitesses eussent été irréalisables avec l'ancien système de rotation des optiques sur chariots de galets sphériques ou coniques. La combinaison mécanique adoptée pour les feux-éclairs consiste à porter l'optique au moyen d'un arbre vertical, convenablement guidé qui repose sur une

crapaudine. L'arbre est solidaire avec un flotteur annulaire plongeant dans une cuve à mercure de même forme. La poussée du liquide est calculée de manière à contrebalancer le poids de l'appareil tournant sur son pivot. Grâce à ces dispositions, la rotation s'exécute facilement, à toutes vitesses, avec un mouvement d'horlogerie actionné par un faible poids moteur.

Phares de La Hève, de l'île d'Yeu et de la Coubre. — Les premières applications des feux-éclairs électriques ont été faites au phare nord de La Hève allumé en 1893, au phare de l'île d'Yeu, dont l'appareil optique a figuré la même année à l'Exposition universelle de Chicago, au phare de la Coubre allumé en 1895.

Les phares de l'île d'Yeu et de la Coubre faisaient partie de ceux qui avaient été désignés en 1886 comme devant être éclairés à l'électricité. Les deux feux fixes électriques de la Hève avaient été condamnés à la même époque par la commission nautique, qui avait reconnu la convenance d'attribuer à tous les phares électriques le caractère scintillant.

Appareils optiques. — Les nouvelles optiques de La Hève et de l'île d'Yeu sont identiques ; disposées de manière à donner toutes les cinq secondes un éclat blanc, elles se composent chacune de 4 panneaux lenticulaires du type bifocal, sans divergence artificielle.

L'optique du phare de la Coubre est disposée de manière à donner toutes les dix secondes un groupe de deux éclats blancs ; elle se compose à cet effet de deux panneaux lenticulaires du type bifocal sans divergence artificielle. Ces panneaux sont dissymétriques et embrassent chacun dans le plan horizontal un angle de 135° ; on utilise la lumière qui serait perdue entre les deux lentilles, dans un angle de 90°, au moyen d'un réflecteur sphérique.

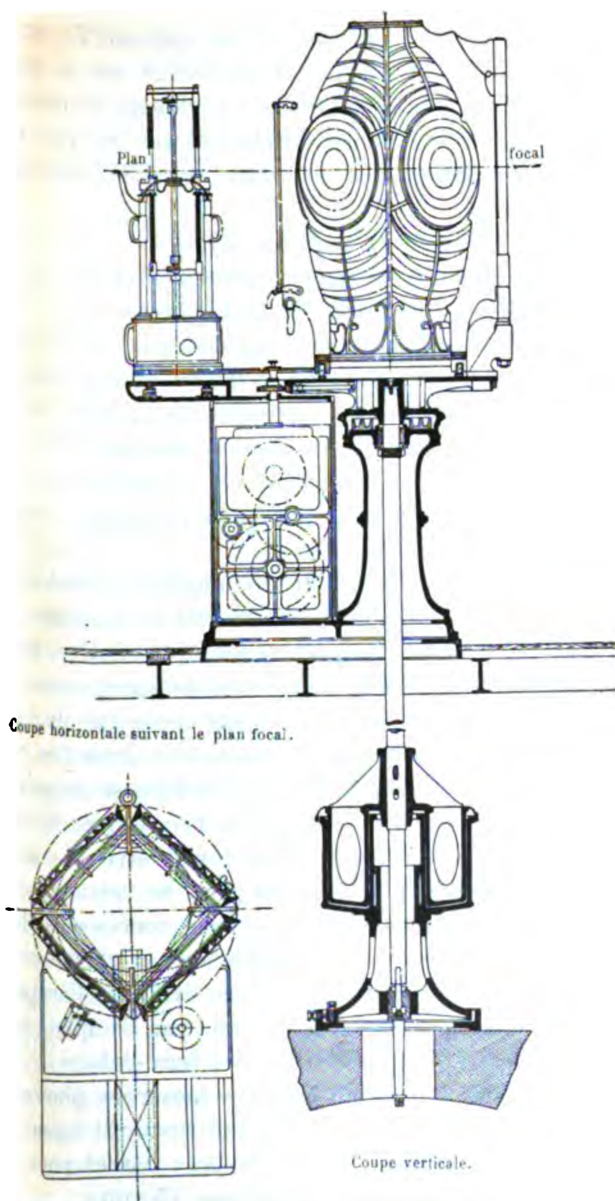


Fig. 3.— Appareil à quatre lentilles pour feu-éclair électrique.—Type 1893.

Les armatures des optiques et les appareils de rotation de La Hève, l'île d'Yeu et la Coubre sont du type caractéristique des feux-éclairs. On reviendra ultérieurement à l'occasion du phare d'Eckmühl sur les particularités qu'offre l'adaptation de ce type au cas de l'éclairage électrique.

Durée des éclats. — L'angle de divergence horizontale effective de chacun des panneaux lenticulaires des appareils de La Hève, l'île d'Yeu et la Coubre est d'environ 2° avec des charbons de 0m,023 de diamètre, au régime de 100 ampères. Cette divergence donne, avec la vitesse de rotation admise pour les appareils de La Hève et de l'île d'Yeu (un tour en vingt secondes), une durée de 1/9 de seconde aux éclats : laquelle est suffisante pour la perception intégrale de leur puissance lumineuse, même à la limite de la portée.

Pour les régimes de 50 et 25 ampères, c'est-à-dire pour les charbons de 0m,016 et 0m,010 de diamètre, la divergence et la durée des éclats sont plus faibles, mais ces régimes correspondent à des états de transparence de l'atmosphère pour lesquels il n'est pas nécessaire de donner au feu électrique toute sa puissance. Dans ces circonstances, la portée lumineuse du feu dépasse sa portée géographique et excède toujours le nécessaire. Si une légère diminution de cette portée devait être la conséquence de la brièveté des éclats, la perte ne retrancherait que du superflu et demeurerait sans conséquences nuisibles.

Puissance lumineuse. — L'expérience a confirmé cette manière de voir et a fait ressortir avec évidence l'accroissement de puissance lumineuse obtenu par l'emploi, dans les phares électriques, du système des feux-éclairs.

Les puissances du feu de La Hève mesurées photométriquement sur la tour Eiffel ont été respectivement de 1.200.000, 1.800.000 et 2.300.000 becs carcel pour les régimes de 25, 50 et 100 ampères sous 45 volts.

Phare d'Eckmühl. — En rapprochant ces chiffres de ceux qui ont été trouvés pour les phares de Créac'h, Belle-Ile et Barfleur, on constate que, dans tous ces appareils, le rendement lumineux décroît quand la dépense d'énergie augmente. Les puissances lumineuses aux trois régimes varient sensiblement comme les nombres 1, 1.5, 1.9, alors que l'énergie électrique augmente comme 1, 2, 4. Il en résulte qu'il y a intérêt à rester dans les régimes modérés et les dimensions restreintes des charbons.

Il est plus avantageux, avec les mêmes optiques et la même énergie électrique, d'associer deux feux électriques fonctionnant à 50 ampères que d'en faire fonctionner un seul à 100 ampères.

C'est sur cette remarque qu'est fondé le principe de l'appareil optique du phare d'Eckmühl.

Appareil optique (Pl., page 90 *bis*). — Celui-ci consiste essentiellement en la juxtaposition, sur une même embase tournante, de deux optiques bifocales à quatre panneaux, analogues chacune à celle du phare de La Hève. L'embase tournante est un plateau en fonte supporté par un arbre vertical en fer forgé, solidaire du flotteur à mercure caractéristique du système de rotation des feux-éclairs. L'arbre est guidé à sa partie supérieure par un manchon en bronze et s'engage à sa partie inférieure dans un coussinet, également en bronze, par un pivot démontable en acier qui repose sur une crapaudine.

Le coussinet peut se mouvoir verticalement dans un écrou de manière à permettre de régler la hauteur de la crapaudine et par suite celle de l'embase de l'optique par rapport à un pont de manœuvre mobile qui sert à l'introduction et au changement des régulateurs électriques.

Les deux optiques portées sur un plateau en fonte peuvent s'ouvrir diagonalement en pivotant autour d'un axe central. L'optique où l'on veut faire une manœuvre de régulateur étant ouverte et l'embase convenablement

réglée et orientée, la voie ferrée qui existe sur le
de manœuvre se trouve en concordance avec une
voie fixée sur l'embase. Le régulateur à mettre en
vice peut alors être poussé sur cette dernière voie
qu'à des arrêts qui le placent dans sa position normal
il se trouve en contact avec des peignes en cuivre fer
le courant sur la lampe.

Les conducteurs électriques qui partent des machin
rendent chacun dans un auget annulaire rempli de
cure et constitué par une matière isolante. Chacun
conducteurs qui aboutissent aux deux régulateurs pl
de même dans un auget et ferme le courant par l'in
médiaire du mercure malgré la rotation de l'appareil.

Les avantages du système de rotation adopté pour
feux-éclairs sont surtout sensibles pour les feux é
triques, car les poussières produites par la combustion
charbons paralysent rapidement le fonctionnement
chariots à galets antérieurement en usage.

Caractère et puissance lumineuse. — L'appa
optique du phare d'Eckmühl effectue une rotation co
plète en vingt secondes comme ceux de La Hève et
l'île d'Yeu. Il donne donc toutes les cinq secondes
éclats réguliers blancs dont la durée est inférieure à 1/
de seconde.

Les charbons employés dans les lampes électriques
chacune des optiques ont des diamètres de $0^{m},010$
$0^{m},016$, suivant que le régime électrique employé est
45 ou de 50 ampères sous 45 volts.

Au régime de 50 ampères dans chaque optique, ce
correspond à une dépense totale de 100 ampères
4.500 watts, la puissance lumineuse obtenue dép
3.000.000 de becs carcel.

Machinerie des feux-éclairs électriques. — Les modific
tions apportées aux dispositifs mécaniques et électriq

des phares électriques depuis l'inauguration du système des feux éclairs sont les suivants:

Les moteurs à vapeur uniformément employés à La Hève, à l'île d'Yeu, à la Coubre et à Eckmühl ont été munis d'un aéro-condenseur spécial système Monin qui permet de récupérer 75 0/0 au moins de l'eau vaporisée.

On a renoncé, pour les phares de l'ile d'Yeu et de la Coubre, aux machines magnéto-électriques de Méritens, dont le fonctionnement est très satisfaisant, mais qui sont coûteuses et encombrantes. On leur a substitué des alternateurs monophasés du système Labour. Le groupe électrogène établi dans chacun de ces phares comprend 2 alternateurs ayant chacun une excitatrice indépendante et susceptibles d'être couplés mécaniquement.

Chaque alternateur donne à la vitesse de 800 tours un courant de 50 ampères sous 45 volts, qui peut être ramené à 25 ampères au moyen d'un réducteur constitué par une bobine de self-induction comprise dans le tableau de distribution. On obtient le régime de 100 ampères en couplant les deux alternateurs.

Les alternateurs adoptés aux phares de l'ile d'Yeu et de la Coubre auraient pu être admis également pour la machinerie du phare d'Eckmühl, moyennant la suppression des dispositifs de couplage; chacun des deux alternateurs aurait été affecté au service de l'une des optiques jumelles et aurait fourni un courant de 25, ou un courant de 50 ampères, à la lampe placée au foyer de celle-ci. Mais cette solution aurait eu l'inconvénient d'exiger la mise en marche des deux alternateurs pour assurer l'éclairage du phare dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire en dépensant 25 ampères dans chaque optique.

Il a dès lors paru préférable de recourir à deux alternateurs diphasés susceptibles d'être accouplés mécaniquement. L'induit de ces alternateurs porte deux circuits superposés chevauchant l'un sur l'autre, chaque circuit

fournissant à la vitesse de 800 tours un courant de 25 ampères à l'une des optiques jumelles. Un seul alternateur suffit dès lors pour assurer le service dans les conditions ordinaires, l'autre restant en réserve. Lorsque l'état de l'atmosphère conduit à donner le maximum de puissance lumineuse, on met en marche les deux alternateurs au moyen d'un embrayage mécanique disposé de manière à relier les circuits des induits en parallèle deux à deux, en amenant les courants de même phase en concordance. On dépense alors 50 ampères dans chacune des optiques jumelles.

Progrès réalisés dans l'éclairage électrique des phares français. — Pour se rendre compte des progrès réalisés dans l'éclairage électrique des phares français, il convient de mettre en présence les puissances lumineuses données par les divers systèmes de phares électriques établis depuis 1882.

Les chiffres du tableau ci-après correspondent à une dépense de 100 ampères.

DÉFINITION DU SYSTÈME		PUISSANCE lumineuse en becs carcel	RENDEMENT lumineux par watt
Système de 1882	Feu fixe	23.000	6
	Feu scintillant	110.000	27
Système de Créac'h (1888)		650.000	162
Feux éclairs	Système de La Hève (1893)	2.300.000	510
	Système d'Eckmühl (1897)	3.000.000	666

En présence de ces résultats, il n'est pas inutile de rappeler que les Anglais estiment à 600.000 becs carcel la puissance lumineuse de leur feu électrique le plus récent et le plus intense, celui de Sainte-Catherine (île de Wight). Son appareil optique de 1^{m},40 de diamètre à

16 lentilles émet, toutes les trente secondes, des éclats durant cinq secondes chacun. La révolution s'exécute en huit minutes au moyen d'une machine spéciale à air comprimé. Les dimensions des charbons atteignent $0^m,060$ au régime de 350 ampères sous 40 volts. Le rendement lumineux par watt descend au-dessous de 45 becs carcel.

Transformation projetée des phares électriques de Gris-Nez, Planier, la Canche et Créac'h. — La mise en service du phare d'Eckmühl a porté à 13 le nombre des phares électriques français : aucune autre nation n'en possède davantage (*). Il reste, pour compléter l'exécution du programme limité, adopté à la suite de l'enquête nautique de 1886, à modifier les caractères des phares de Gris-Nez, de la Canche et de Planier, qui ont été reconnus défectueux.

Les phares électriques de Gris-Nez et de Planier sont actuellement caractérisés par des groupes de 3 éclats blancs séparés deux à deux par un éclat rouge. La théorie et l'expérience montrent qu'il est impossible d'assurer l'égalité de portée des éclats rouges et blancs ; le caractère distinctif des feux se trouve donc forcément altéré vers la limite de leur portée lumineuse, ce qui constitue un vice capital pour des phares de grand atterrage.

Il a été décidé en conséquence de remplacer les appareils optiques actuels de Gris-Nez et de Planier par des appareils identiques à celui du phare d'Eckmühl et donnant comme celui-ci des éclats blancs réguliers toutes les cinq secondes.

Les phares jumeaux de la Canche ont le caractère de feux fixes blancs associés. Ce caractère, que les phares de La Hève possédaient également avant 1893, corres-

(*) On compte 4 phares électriques en Angleterre, parmi lesquels deux, cap Lizard et South Foreland, sont constitués par deux feux fixes associés.

pond au maximum des dépenses d'entretien et au minimum de la puissance lumineuse. On a décidé de faire subir aux phares de la Canche la même transformation qu'à ceux de La Hève; le phare Nord sera éteint, et le phare Sud transformé en feu-éclair à éclats blancs groupés par deux toutes les dix secondes. L'appareil optique employé sera analogue à celui d'Eckmühl et formé comme lui de deux optiques jumelles à 4 panneaux, mais chacune des optiques sera sur plan losange au lieu d'être sur plan carré. La puissance lumineuse sera sensiblement la même que celle de l'appareil d'Eckmühl.

Le phare de Créac'h d'Ouessant, dont l'importance nautique est telle qu'il convient d'y introduire sans retard tous les perfectionnements apportés à l'éclairage, sera également muni d'un appareil de feu-éclair à optiques jumelles, émettant des éclats blancs groupés par deux toutes les dix secondes.

CHAPITRE IV.

Feux d'atterrage de deuxième ligne.

L'ajournement de la majeure partie des 46 phares électriques, compris au programme de 1882, a donné une grande importance aux recherches entreprises en vue de renforcer la puissance lumineuse des feux de deuxième ligne, ne comportant pas l'emploi de l'électricité.

Ces recherches ont été entreprises à l'Étranger comme en France. Elles ont porté sur les sources de lumière, sur les dimensions des optiques et sur leur composition (*).

(*) Note autographiée de M. Ribière, ingénieur en chef du Service central des Phares, communiquée à la commission des phares dans sa séance du 14 décembre 1895.

Sources lumineuses. — En Angleterre, la Corporation de Trinity-house, restée fidèle à l'emploi de l'huile minérale, a cherché à augmenter l'intensité à feu nu de ses brûleurs et a élevé jusqu'à 10 le nombre des mèches de ses becs, c'est-à-dire jusqu'à $0^m,22$ leur diamètre. La puissance lumineuse à feu nu d'un bec à 10 mèches est de 180 becs carcel.

En Irlande, un certain nombre de phares importants ont été éclairés au gaz au moyen de brûleurs à jets multiples. Ces jets peuvent être réunis au nombre de 108 dans un cercle de $0^m,286$ de diamètre et donnent alors à feu nu une puissance lumineuse de 230 becs carcel.

Mais l'éclat du faisceau émis par un panneau lenticulaire d'optique de phare est proportionnel, non à l'intensité totale à feu nu, mais à l'éclat intrinsèque (*) par unité de surface de la source mise au foyer. Or l'éclat intrinsèque des flammes à l'huile minérale ou au gaz ne croît que très lentement quand on augmente les dimensions de ces flammes. Les intensités totales d'un bec à 6 mèches et d'un bec à 10 mèches sont entre elles dans le rapport de 1 à 3,75 ; les éclats intrinsèques moyens de leurs flammes sont dans le rapport de 1 à 1,3 seulement.

Dans le cas de l'éclairage à l'huile, comme dans celui de l'éclairage électrique, il y a donc intérêt à rester dans les régimes modérés et les dimensions restreintes des brûleurs, et il est beaucoup plus avantageux, avec les mêmes optiques et la même consommation d'huile, d'associer deux feux fonctionnant avec des becs à 5 mèches de dimension courante que d'en faire fonctionner un seul avec un bec à mèches multiples ayant une consommation double de celle du bec à 5 mèches.

(*) Congrès maritime international de Londres, 1893, *Mémoire sur la puissance lumineuse des appareils d'éclairage des phares*, par M. Bourdelles, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Brûleur à incandescence par le gaz d'huile sous pression. — Le Service des Phares français est entré dans une voie toute différente de celle suivie par les services similaires d'Angleterre et d'Irlande. Après de longs essais poursuivis sous la direction de M. Bourdelles, il a adopté en 1894 un brûleur à incandescence par le gaz d'huile comprimé, qui constitue une source lumineuse de faible intensité totale, mais d'un éclat intrinsèque considérable.

Ce brûleur se compose essentiellement d'un manchon Auer de $0^m,030$ de diamètre, placé au sommet d'un bec Bunsen, à la base duquel le gaz d'huile, débouchant par un mince orifice à la pression d'environ $1^m,50$ d'eau, constitue une veine aspirante qui entraîne la quantité d'air strictement nécessaire à la combustion complète. On arrive ainsi, en réglant l'admission de l'air avec un registre, à réaliser le maximum du rendement lumineux qui correspond à une consommation de 4 litres de gaz par bec carcel.

Placé au foyer de l'optique du phare de Chassiron, à la place d'un bec à huile minérale à 6 mèches, le brûleur à incandescence pour le gaz d'huile sous pression a porté la puissance lumineuse du phare de 8.500 à 20.000 becs carcel. Le bec à 10 mèches de Trinity-house n'aurait donné, dans la même optique, que 11.500 becs carcel (*).

Optiques hyperradiantes. — Les nations maritimes, qui ont cherché à améliorer les sources lumineuses placées au foyer des appareils optiques en accroissant leur intensité à feu nu et leur volume, ont été naturellement conduites à augmenter aussi les diamètres des optiques pour éviter une divergence excessive des faisceaux lumineux.

(*) Intensité à feu nu.	du brûleur à incandescence par le gaz d'huile sous pression........	30 becs.
Id.	du bec à huile minérale à 6 mèches.	48 —
Id.	du bec à huile minérale à 10 mèches.	180 —

C'est ainsi que l'Angleterre et l'Irlande ont, avec le concours d'un constructeur français, M. Barbier, porté de $0^m,92$ à $1^m,33$ le maximum de la distance focale des panneaux lenticulaires.

Les appareils de $1^m,33$ de distance focale ont reçu le nom d'hyperradiants. La Corporation de Trinity-house et les commissaires des phares d'Irlande ont superposé deux et même trois optiques hyperradiantes, réduites à leur partie dioptrique, dans la lanterne d'un même phare. Les appareils ainsi constitués, qui ont reçu le nom de « biformes » et de « triformes », illuminés par les grands brûleurs à l'huile et au gaz dont il a été parlé ci-dessus, ont des puissances lumineuses qui atteignent 33.000 becs carcel. Mais ils sont très coûteux et encombrants, ils tournent difficilement, leurs brûleurs sont d'une conduite compliquée et dégagent une chaleur intolérable pour les gardiens de service.

En France, une application des appareils hyperradiants a été faite au cap d'Antifer avec une optique unique illuminée par un bec à 6 mèches. La puissance obtenue a été de 22.000 becs carcel.

Cette application n'a pas été et ne sera pas renouvelée.

Feux-éclairs à l'huile minérale et avec brûleur à incandescence par le gaz d'huile sous pression. — L'application du principe fécond des feux-éclairs aux feux à l'huile minérale a permis à elle seule d'obtenir des puissances lumineuses analogues à celle du phare d'Antifer, sans dépasser le maximum de distance focale de $0^m,92$ admis jadis par Fresnel (*).

L'adoption d'une source lumineuse d'un vif éclat, sous de petites dimensions, a porté le dernier coup aux appareils optiques de distances focales exceptionnelles. Les

(*) Puissance lumineuse du feu-éclair des dunes de Hourtin avec bec à l'huile minérale à 6 mèches, 19.000 becs carcel.

proportions nécessaires entre les dimensions de l'appareil et celles de la source lumineuse conduisent plutôt à réduire qu'à augmenter les anciens types d'appareil; pour réaliser des éclats ne durant qu'un dixième de seconde avec un manchon Auer de $0^m,030$ et un appareil formé d'un petit nombre de panneaux lenticulaires de disposition avantageuse, il convient de fixer la distance focale de ces derniers à $0^m,70$, ce qui correspond à l'ancien second ordre de Fresnel.

Trois puissants feux-éclairs, illuminés au moyen du brûleur à incandescence par le gaz d'huile sous pression, ont été allumés en 1897 aux phares de Groix, de l'île de Sein et d'Armen. Leur puissance lumineuse a atteint 30.000 becs carcel.

Deux feux-éclairs de même nature, mais constitués au moyen de deux optiques associées sur une même embase tournante comme celles de l'appareil de feu-éclair électrique du phare d'Eckmühl, sont en ce moment en construction. Ils sont destinés aux phares de l'Ailly (près de Dieppe) et de l'île Vierge (près de l'Abervrach). Leur puissance lumineuse dépassera 60.000 becs carcel; elle sera analogue à celles des phares électriques actuels de Gris-Nez et de Planier, et de beaucoup supérieure à celle des feux électriques anglais du cap Lizard et de South-Foreland.

Les dépenses annuelles en gaz d'huile et en manchons Auer d'un feu tel que ceux actuellement en service à Chassiron, Groix, etc., sont de 1.500 francs, chiffre à peine égal à la moitié de la dépense annuelle d'un feu à 6 mèches pour consommation d'huile, mèches et cheminées (*).

(*) Les feux à incandescence par le gaz présentent, en outre, au point de vue de la facilité et de la sécurité du service d'entretien, de très sérieux avantages qui complètent leur très grande supériorité sur les feux à l'huile minérale.

Amélioration des feux d'atterrage de 2e ligne des côtes de France. — L'invention du système des feux-éclairs et l'adoption d'une source lumineuse nouvelle à la fois éclatante et économique ont donné le moyen d'apporter à l'éclairage de notre littoral la majeure partie des améliorations qu'avaient eu en vue les auteurs du programme d'éclairage électrique de 1882, sans cependant grever en aucune manière le budget d'entretien des phares français, comme l'aurait fait le fonctionnement de nombreux phares électriques (Pl. 30).

La transformation des 33 phares, figurant au programme de M. Allard, où l'installation de l'éclairage électrique a été ajournée, se poursuit peu à peu. Conformément aux idées nouvelles sur la distribution de l'éclairage sur les côtes, on a laissé tout d'abord dans leur état ancien les phares qui n'intéressent aucune route suivie par la navigation, ou qui sont situés au fond des baies. On a renforcé, au contraire, ou l'on se prépare à renforcer, tous ceux qui, se trouvant de part et d'autre d'un feu de grand atterrage, lui servent en quelque sorte d'auxiliaire. Tels sont : celui d'Antifer, qui complète les indications du phare de La Hève, pour l'atterrage du Havre ; ceux de Chassiron et de Hourtin pour l'atterrissage sur le feu de la Coubre à l'entrée de la Gironde ; ceux de Groix, de l'île de Sein et d'Armen pour l'atterrissage sur les phares de Belle-Ile, d'Eckmühl et de Créac'h-d'Ouessant. Le nouveau phare de l'Ailly améliorera les communications postales entre Dieppe et New-Haven ; celui de l'île Vierge éclairera un atterrage important pour les navires qui, ayant doublé la presqu'île du Cotentin et les îlots des Casquets, au large d'Aurigny, viennent déboucher de la Manche ou chercher le chenal du Four, entre le groupe des îles Molène et la terre. Les nouveaux feux-éclairs de Porquerolles, du Titan, de la Garouppe facilitent l'atterrissage sur les îles d'Hyères et le golfe Juan, que le voi-

sinage de Toulon et la présence de l'escadre d'évolutions rendent particulièrement important.

CHAPITRE V.

Signaux sonores associés aux phares électriques.

Programme de 1882. — Le programme sanctionné par la loi du 3 avril 1882 comprenait l'adjonction de signaux sonores à une vingtaine des 46 phares électriques dont l'établissement était prévu. Ces signaux sonores devaient consister en sirènes à vapeur émettant des sons simples ou groupés par deux, d'égale hauteur ou de hauteur variable.

Deux de ces signaux furent établis au phare de l'Ailly près de Dieppe et à la pointe de Pern, près du phare de Créac'h d'Ouessant. Ils présentaient l'inconvénient capital de ne pouvoir être mis en action que trois quarts d'heure environ après le moment où les gardiens ont reconnu l'existence de la brume. Cet inconvénient était d'ailleurs commun à tous les signaux sonores existant à cette époque.

Signaux sonores à air comprimé. — Dès 1886, sur l'initiative de M. l'Inspecteur général Bourdelles, alors Ingénieur en chef du Service central des Phares, des expériences furent entreprises en vue de l'adoption de signaux sonores à air comprimé. Ces expériences, qui ont été faites en majeure partie au phare du cap Gris-Nez, sous la direction de M. l'Ingénieur en chef Ribière, ont abouti à l'établissement de signaux sonores à mise en marche instantanée aux phares de Gris-Nez, de l'Ailly, d'Antifer, de Barfleur, de Créac'h d'Ouessant, d'Eckmühl, de Belle-

Ile, de l'île d'Yeu, de la Coubre et de Planier. Ces signaux sonores sont aujourd'hui en service ou en cours d'installation.

Ils sont constitués par des sirènes émettant des sons simples ou groupés durant en moyenne trois secondes par minute et comportent tous un approvisionnement d'air comprimé contenu dans des réservoirs en tôle soudée, dits « accumulateurs », chargés à la pression de 15 kilogrammes. Ces accumulateurs ont une capacité totale suffisante pour qu'ils contiennent largement la provision d'air nécessaire au fonctionnement de la sirène pendant le temps que le moteur à vapeur exige pour être mis en marche. L'air sortant des accumulateurs est ramené par un détendeur à la pression de 2 kilogrammes, qui est la pression de régime du signal sonore.

En marche normale, l'air comprimé à l'aide du moteur pendant soixante secondes est dépensé en trois secondes; l'énergie mécanique transformée en énergie sonore pendant une seconde de son est donc élevée, bien que la puissance effective empruntée d'une manière continue au moteur soit relativement faible et permette à celui-ci de continuer à faire face aux besoins de l'éclairage électrique du phare.

Signal sonore du phare d'Eckmühl. — La sirène du phare d'Eckmühl, établie sur la galerie supérieure de la tour, émet des groupes de deux sons d'égale hauteur durant chacun trois secondes, et séparés par un intervalle de trois secondes, alternant toutes les quatre-vingt-dix secondes avec un son unique de même hauteur et de trois secondes de durée. La note obtenue est le *mi*^{3}.

La dépense d'air par seconde de son est de 400 litres mesurés à la pression atmosphérique. Les émissions de son sont réglées par une machine de rotation à mouvement d'horlogerie.

La compression de l'air est obtenue au moyen d'un compresseur du système Genty, actionné par les moteurs à vapeur du phare à l'aide d'une transmission par courroie. Ce compresseur comporte 4 cylindres étagés ; en marche normale, pour comprimer l'air à 2 kilogrammes, on le fait passer de l'atmosphère directement dans le premier et le troisième cylindre ; pour charger les accumulateurs à 15 kilogrammes, l'air n'est plus aspiré que dans le premier cylindre, à partir duquel il subit quatre compressions successives.

CHAPITRE VI.

Construction et inauguration du phare d'Eckmühl.

Testament de Madame la Marquise de Blocqueville. — Le 7 octobre 1892 mourait en son hôtel, quai Malaquais, à Paris, Mme Adelaïde-Louise Davout d'Eckmükl, marquise de Blocqueville.

De son testament, daté du 2 février 1885, est extrait littéralement ce qui suit :

« Je nomme M. le Myre de Vilers, ancien Gouver-
« neur de la Cochinchine, mon exécuteur testamentaire
« en tout ce qui concerne le phare d'Eckmühl.

« Ma première et ma plus chère volonté est qu'il soit
« élevé un phare sur un point dangereux des côtes de
« France, non miné par la mer.

« Mon vieil ami, le baron Baude, m'a souvent dit que
« bien des anses des côtes bretonnes restaient obscures et
« dangereuses. J'aimerais que le phare d'Eckmühl fût
« élevé là ; mais sur quelque terrain solide, granitique,
« car je veux que ce noble nom demeure longtemps
« béni.

« Les larmes versées par la fatalité des guerres, que « je redoute et déteste plus que jamais, seront ainsi « rachetées par les vies sauvées de la tempête.

« M. le Myre de Vilers, dont je connais la vaillante « intelligence et sur le dévouement duquel je crois pou- « voir compter, voudra bien consulter, pour l'érection de « ce phare, les hommes compétents.

« Je consacre à cette fondation une somme de « 300.000 francs, voulant ce phare digne du nom qu'il « portera.

« La statue de bronze du Maréchal qui est en ma pos- « session, réduction de la statue érigée à Auxerre, ornera « la salle basse du phare, et, sur le socle qui supportera « la statue, on gravera le nom des batailles auxquelles « le Maréchal a assisté. Sur une plaque de marbre « incrustée dans la muraille, on inscrira les paroles sui- « vantes : *Ce phare a été élevé à la mémoire du Maré- « chal Prince d'Eckmühl par la piété filiale de Na- « poléon-Louis Davout, Duc d'Auerstaedt, Prince « d'Eckmühl, son fils unique mort sans enfants, et par « sa fille Adélaïde-Louise d'Eckmühl, Marquise de « Blocqueville, également morte sans enfants.*

« Mon bien-aimé frère et moi, également malheureux « dans la vie, nous devons rester unis dans le souvenir.

« Ceux qui comprendront cette pensée de douleur prie- « ront pour lui et pour moi. »

Acceptation et emploi du legs. — Saisi de cet extrait du testament de Mme de Blocqueville par M. le Myre de Vilers, le Minstre des Travaux Publics constitua, sous la présidence de ce dernier, une commission chargée d'étudier dans leur ensemble les mesures à prendre pour faire du legs un emploi répondant exactement au vœu de la testatrice.

Cette commission comprenait, outre M. le Myre de

Vilers, MM. Denormandie, sénateur, le Général Davout duc d'Auerstaedt, le Comte Vigier, le Vice-Amiral Besnard, alors président de la Commission des Phares, Guillain, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines, E. Bernard, Directeur du Service des Phares et Balises, Bourdelles, Ingénieur en Chef du Service central des Phares et Balises.

Elle élabora le projet d'une convention, qui fut passée entre l'exécuteur testamentaire et le Ministre des Travaux Publics. Aux termes de cette convention, le phare d'Eckmühl devait être un phare électrique de premier ordre, d'environ 60 mètres de hauteur, construit en granit sur la presqu'île de Penmarc'h, à proximité et en remplacement du phare à l'huile de Penmarc'h, reconnu depuis longtemps insuffisant pour servir de phare de grand atterrage dans ces parages particulièrement dangereux.

Sur le vu de cette convention, un décret du 16 mars 1893, rendu en Conseil d'État, autorisa le Ministre des Travaux Publics à accepter le legs de Mme de Blocqueville.

Les travaux commencèrent en 1894.

Édifice du phare d'Eckmühl. — La description détaillée de l'édifice du phare d'Eckmühl sortirait du cadre de la présente note.

Il a reçu un caractère éminemment monumental et a été exécuté en matériaux de choix, dont la résistance défie les injures du temps et les corrosions de l'air salin de l'Océan.

La tour est exclusivement en granit de Kersanton : elle est revêtue intérieurement d'opaline, produit vitrifié inaltérable ; tous les objets de serrurerie et la rampe de l'escalier sont en bronze poli.

Les inscriptions indiquées par le testament de Mme de Blocqueville ont été gravées à l'antique sur des plaques de porphyre vert des Vosges, encadrées de guirlandes de

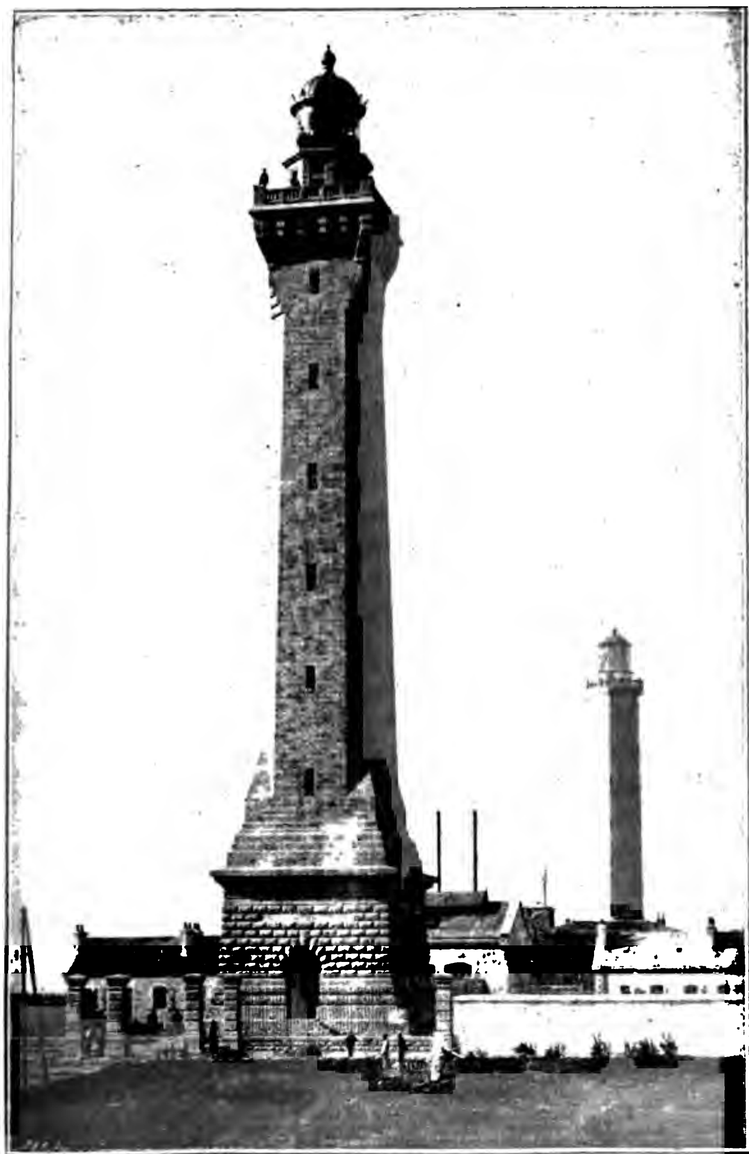


FIG. 4.

Fig. 5. — Plan de situation des installations et des dépendances du phare d'Eckmühl.

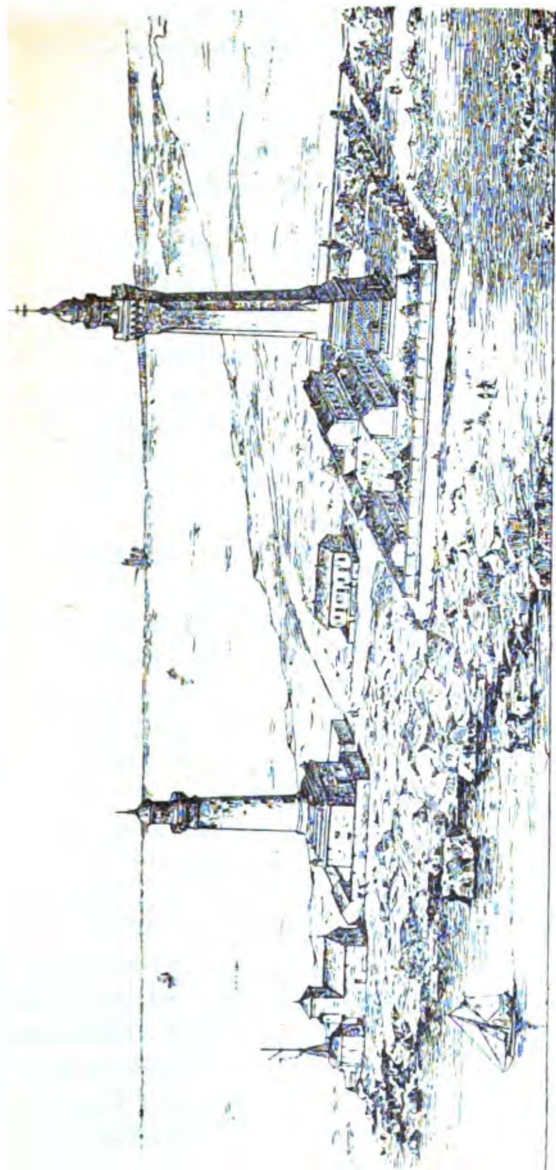


FIG. 6. — Perspective du phare et de ses abords.

laurier en bronze patiné. La statue du Maréchal Prince d'Eckmühl se dresse dans la salle d'honneur sur un socle de porphyre vert.

La machinerie du phare est installée dans un bâtiment spécial situé derrière la tour. D'autres bâtiments accessoires sont utilisés pour le logement des gardiens et les servitudes.

L'ancien phare de Penmarc'h, situé à 100 mètres en avant du phare d'Eckmühl a été conservé comme amer.

Un phare plus ancien encore existe d'ailleurs à la pointe de Penmarc'h. La tour de la petite chapelle de Saint-Pierre, dernier débris, dit-on, d'une commanderie de Templiers, a en effet servi pendant les siècles passés à porter des feux de bois et de charbons, les seuls que connussent alors les navigateurs.

Inauguration du Phare. — Le phare d'Eckmühl a été inauguré le 17 octobre 1897.

L'Administration des Travaux Publics a tenu à donner à cette cérémonie une grande solennité, tant pour rendre un nouvel hommage à la noble pensée qui a été le point de départ de la construction du phare que pour consacrer officiellement les progrès réalisés depuis quelques années dans l'éclairage des côtes de France.

En l'absence de M. le Ministre des Travaux Publics, retenu à Paris par la rentrée du Parlement, la cérémonie a été présidée par M. le baron Quinette de Rochemont, Conseiller d'État, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines; y assistaient les représentants de la famille de Mme la Marquise de Blocqueville, le Chef du Cabinet militaire du Ministre de la Marine, délégué pour le représenter, les sénateurs et députés du Finistère, les Membres de la Commission des Phares, le Directeur et les Ingénieurs du Service des Phares et Balises et de nombreux marins des ports voisins de Penmarc'h.

Après la visite détaillée des installations du phare, les invités se sont réunis dans la salle des Machines, où M. Le Myre de Vilers, en sa qualité d'exécuteur testamentaire de Mme de Blocqueville, a fait remise au Département des Travaux Publics du phare d'Eckmühl et de ses dépendances.

Discours de M. le Myre de Vilers. — M. le Myre de Vilers s'est exprimé en ces termes :

« MESSIEURS,

« La libéralité de Mme la Marquise de Blocqueville « envers un Département qui reçoit rarement des legs, le « souvenir des victoires d'Auerstaedt et d'Eckmühl qu'à « cette époque surtout nous ne saurions oublier, l'impor- « tance scientifique du phare qui constate une fois de plus, « d'une façon magistrale, la supériorité de l'éclairage des « côtes de France, m'avaient fait espérer que M. le Ministre « des Travaux Publics honorerait de sa présence la céré- « monie d'inauguration de ce monument. Je regrette que « d'autres occupations ne le lui aient pas permis et que « les vaillantes populations de ces côtes battues par la « tempête soient ainsi privées du plaisir qu'elles se pro- « mettaient à recevoir pour la première fois un membre « du Gouvernement de la République.

« Mais cette abstention de l'honorable M. Turrel n'est « certainement pas, de sa part, une marque d'indifférence « ni pour la générosité de Mme de Blocqueville, ni pour la « gloire immortelle du Maréchal Davout, ni pour le génie « de nos Ingénieurs, ni pour le courage, l'abnégation, le « dévouement de nos braves marins.

« Il y a vingt ans, Messieurs, que Mme de Blocqueville « m'entretint de son désir d'élever un phare en mémoire « de son père et me consulta sur les moyens d'exécuter

« ce projet. Bien que je la visse fréquemment, la Marquise « ne me reparla plus de ses intentions premières ; aussi « fût-ce avec surprise que je reçus dans le mois d'oc- « tobre 1892, quelques jours après sa mort, l'extrait de « son testament que je dois vous lire. . . . . . .

. . . .

« Jamais plus nobles pensées n'ont été exprimées dans « un plus noble langage ; elles sont dignes de la femme « de bien qui les a écrites ; je n'en ai pas connu de meil- « leure.

« Mme de Blocqueville, qui avait été fort belle et con- « servait encore dans sa vieillesse une grâce et un « charme captivants, possédait toutes les qualités du « cœur et de l'esprit : fidèle à ses amis, sachant « accueillir et encourager les humbles, sévère pour elle- « même, indulgente aux autres ; sa charité éclairée n'ad- « mettait pas de distinction de parti devant la souffrance « humaine, et je me souviens qu'après la Commune elle « me fit rechercher un officier fédéré qu'elle cacha chez « elle, et dont elle assista les enfants pendant plusieurs « années.

« Messieurs, la tâche qui m'incombait était lourde, « mais elle fut grandement facilitée par la bienveillance « du Gouvernement. En quelques mois nous obtinmes les « autorisations nécessaires, et vous savez si chez nous les « formalités administratives sont longues à remplir. Le « regretté M. Viette, alors Ministre des Travaux publics, « plus tard ses successeurs, MM. Jonnart et Guyot-Des- « saigne, aplanirent toutes les difficultés. Je leur dois ici « un témoignage public de ma gratitude.

« Tous ceux qui participèrent à cette entreprise, chefs « et subordonnés, rivalisèrent de talent et de zèle. Tous « étaient animés de la pensée commune d'édifier une « œuvre qui honorerait la science française et rappelle- « rait aux générations futures la gloire immortelle du

« vainqueur d'Auerstaedt et d'Eckmühl. Je les remercie « cordialement du concours dévoué qu'ils m'ont prêté. « Leur nom ne sera pas oublié; il est gravé sur une « plaque de bronze dans la salle d'entrée (*).

« Monsieur le Directeur, au nom de Mme la Marquise « de Blocqueville, en ma qualité d'exécuteur testamen- « taire, j'ai l'honneur de remettre le phare d'Eckmühl au « Gouvernement de la République. Dans quelques instants « ses puissants rayons diront aux navigateurs du monde « entier atterrissant sur ces côtes dangereuses qu'une « femme de bien a veillé sur eux et leur a donné la sécu- « rité.

« Grâce à elle « les larmes versées par la fatalité des « guerres seront ainsi rachetées par les vies sauvées de « la tempête. »

(*) L'inscription dont il s'agit est ainsi conçue :

Les projets de la construction du Phare d'Eckmühl ont été dressés sous la haute direction de :

MM. LE MYRE DE VILERS, Exécuteur testamentaire.
GUILLAIN, Directeur de la Navigation au Ministère des Travaux Publics.
E. BERNARD, Inspecteur général, Directeur du Service des Phares.

par :

MM. BOURDELLES, Ingénieur en Chef du Service central des Phares.
RIBIÈRE, Ingénieur ordinaire du Service central des Phares.
P. MARBEAU, Architecte.

Les travaux ont été exécutés sous la direction de :

M. BOURDELLES, Inspecteur général, Directeur du Service des Phares.

par :

MM. CONSIDÈRE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.
DUPERRIER, Ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.
PROBESTEAU, Conducteur principal des Ponts et Chaussées.
VABRE, Entrepreneur.

Chargés de la construction des édifices.

MM. RIBIÈRE, Ingénieur en Chef du Service central des Phares.
BLONDEL et DE JOLY, Ingénieurs ordinaires du Service central des Phares.
MEURS et CIOLINA, Conducteurs principaux du Service central des Phares.
SAUTTER, HARLÉ et Cie, Constructeurs.

Chargés de la construction des machines et appareils.

Discours de M. Quinette de Rochemont. — M. Quinette de Rochemont a répondu au discours qui précède. Il a fait à son tour un éloge mérité de Mme la Marquise de Blocqueville, et il lui a justement associé M. le Myre de Vilers dans l'expression de la reconnaissance de l'Administration et des populations maritimes.

Puis, faisant remarquer que la pointe de Penmarc'h présente en raccourci l'histoire des phares, il a évoqué le glorieux souvenir de Fresnel. Grâce à son immortelle invention des appareils lenticulaires, la France a été l'éducatrice de toutes les nations en matière d'éclairage maritime, tout en conservant, jusque vers 1860, une incontestable supériorité sur ses élèves. Mais, en pareille matière, qui ne progresse déchoit. Il appartenait à M. l'Inspecteur général Bourdelles, Directeur actuel du Service des Phares, de rendre à la France une prééminence indiscutée.

M. Quinette de Rochemont a rappelé que l'invention des feux-éclairs est le progrès le plus éclatant réalisé dans l'éclairage des côtes depuis l'invention des appareils lenticulaires par Fresnel. Il a pris à témoin de ses paroles le phare d'Eckmühl, dont la portée lumineuse moyenne dépasse 100 kilomètres. Le principe des feux-éclairs, quelque révolution qu'il ait apporté dans les habitudes des Ingénieurs spéciaux de beaucoup de nations maritimes, et bien qu'il n'ait été rendu public qu'en 1893, est dès maintenant accepté dans toutes les parties du monde. Le navigateur trouve des feux de ce genre en Chine et en Australie, au Japon et aux États-Unis. Le Gouvernement allemand a envoyé en France, en 1896, une importante mission chargée d'en étudier l'emploi. La Corporation de Trinity-house, après avoir mûrement étudié la question, a fait établir à Paris un appareil de feu-éclair de grande dimension.

M. Quinette de Rochemont a rappelé à ce propos que

toute invention française en matière d'appareils de phares donnait une impulsion nouvelle à notre industrie. Celle des feux-éclairs est capitale à ce point de vue.

La France et le corps des Ponts et Chaussées ont le droit d'en être fiers.

M. Quinette de Rochemont a terminé son discours en prenant possession du phare d'Eckmühl au nom du Département des Travaux Publics.

Discours de M. Cosmao-Dumenez. — Après lui, M. Cosmao-Dumenez, député du Finistère, s'est fait l'interprète des sentiments de reconnaissance des populations maritimes de la région, qui béniront longtemps la mémoire de Mme de Blocqueville et de son glorieux père.

Des distinctions honorifiques, des médailles d'honneur ont été décernées, puis la cour du phare, ouverte à la foule, s'est emplie de chants et de danses, pendant que, pour la première fois, le phare d'Eckmühl envoyait bien au-delà de l'horizon ses éclats réguliers et rapides.

Paris, 15 décembre 1897.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE IV.

Feux d'atterrage de deuxième ligne.

CHAPITRE V.

Signaux sonores associés aux phares électriques.

CHAPITRE VI.

Construction et inauguration du phare d'Eckmühl.

N° 43

PRÉCISION ET RENDEMENT

DES

APPAREILS OPTIQUES DE PHARES

Par M. RIBIÈRE,
Ingénieur en chef du Service central des Phares et Balises.

Introduction. — L'introduction dans les phares de sources lumineuses de faibles dimensions et d'un vif éclat, telles que les brûleurs à incandescence par le gaz riche, aux lieu et place des anciens brûleurs à huile minérale et à mèches multiples, donne un intérêt très général aux questions de précision et de rendement des appareils optiques, qui n'avaient jusqu'ici de réelle importance que pour les phares électriques.

Nous plaçant à ce point de vue, nous avons repris l'étude des questions suivantes :

Précision théorique du tracé usuel des appareils ; causes et importance des erreurs ; modes de vérification ;

Rendement théorique des divers éléments des appareils ; conséquences à en déduire pour la composition des appareils ;

Et nous avons procédé à diverses vérifications expérimentales faisant connaître l'influence effective de la composition des appareils et de leur précision sur le pouvoir lumineux.

CHAPITRE I.

Précision des appareils optiques.

1. **Méthode employée. — Anneaux dioptriques.** — Considérons d'abord les anneaux lenticulaires plan-convexes.

Fig. 1.

Soient : CC′, un élément de la face courbe d'un de ces anneaux; A, l'angle de la tangente en C avec la face plane ; O′ et O′C, le centre et le rayon de courbure correspondant au point C. Cherchons le foyer de cet élément.

Pour cela, supposons qu'on fasse tomber sur la face CC′ es rayons parallèles dirigés perpendiculairement à la face lane. Soient : F′, le point de rencontre des rayons après ne première réfraction, et F, leur point de rencontre

après une seconde réfraction. F est le foyer de l'élément. Désignons par :

ds, la longueur de la fraction de courbe CC' ;

R, le rayon de courbure ;

L', L, f, e, les longueurs F'B, FB, FO, BC ;

n, l'indice de réfraction ;

i et r, les angles de FB et F'B avec la perpendiculaire à la face plane.

On a :

$$\frac{L}{L'} = \frac{\cos^2 i}{n \cos^2 r} \tag{1}$$

$$\frac{L' + e}{\cos(A - r)} = \frac{ds}{dr} \tag{2}$$

$$R = \frac{ds}{dA}; \tag{3}$$

d'où

$$L' + e = L\frac{n\cos^2 r}{\cos^2 i} + e = f\frac{n\cos^2 r}{\cos^3 i} + e,$$

et

$$f\frac{n\cos^2 r}{\cos^3 i} + e = R\cos(A - r)\frac{dA}{dr};$$

d'ailleurs

$$\sin i = n \sin r \tag{4}$$

et

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin i}{n\cos r - 1}; \tag{5}$$

d'où

$$\frac{dA}{dr} = \frac{n\sin^2 A}{\sin^2 i}[\cos r(n\cos r - 1) + \sin i \sin r];$$

par suite, en posant :

$$K = \frac{n\cos^2 r}{\cos^3 i}$$

et

$$\rho = \frac{\sin^2 i}{n\sin^2 A\cos(A - r)[\cos r(n\cos r - 1) + \sin i \sin r]}.$$

on a

$$fK + e = \frac{R}{\rho},$$

où

(6) $$f = \frac{R - e\rho}{K\rho}.$$

K et ρ sont les coefficients dont nous avons fourni une table à la fin de notre mémoire inséré aux *Annales des Ponts et Chaussées* d'août 1894.

La formule (6) permet de voir comment f varie soit avec la longueur du rayon de courbure, soit avec la position du centre de courbure, ou, ce qui est équivalent, avec l'angle A, soit avec l'indice de réfraction.

2. **Variations du rayon de courbure.** — Examinons d'abord l'effet de variations du rayon de courbure. Prenons, comme exemple, la lentille annulaire de l'appareil en construction pour le phare de l'île Vierge, de $0^{m},700$ de distance focale, dont le profil a été établi par M. l'Ingénieur Blondel. Considérons successivement l'élément central (n° 1), l'élément suivant (n° 2) et le dernier élément (n° 15). Conformément à la règle, la face courbe de chacun de ces éléments est tracée suivant un cercle, alors que la courbe théorique, d'ailleurs irréalisable en pratique, comporterait un rayon de courbure variable suivant les incidences.

1° *Élément central* (*n*° 1). — En appliquant la formule (6) successivement au centre et au bord de l'anneau, c'est-à-dire pour $i = 0$ et $i = 10° 55'$, nous obtenons au centre $f = 726^{mm},57$, et au bord $f = 650^{mm},69$, le foyer étant dans ce cas placé sur le rayon émané du foyer principal ou centre de l'optique (*fig*. 2, p. 122 *bis*). Pour les autres incidences, le foyer occupe des positions intermédiaires entre ces deux extrêmes, mais sans se trouver dans chaque cas sur le rayon central correspondant à l'incidence con-

sidérée. Le cercle substitué à la courbe théorique ne donne pas, en effet, le même angle A que celle-ci, sauf au centre et aux bords de l'anneau. On voit donc que l'effet de cette substitution est de faire varier la distance focale entre des limites assez éloignées.

2° *Élément n°* 2. — En appliquant la formule (6) successivement au bord inférieur et au bord supérieur, c'est-à-dire pour $i = 10° 55'$ et $i = 15° 34'$, nous obtenons deux distances focales de 736mm,27 et 663mm,00, les foyers étant placés sur les rayons centraux correspondants (*fig.* 3).

3° *Élément n°* 15. — Les distances focales sont, pour les deux bords inférieur et supérieur, de 724 millimètres et 679mm,14 (*fig.* 4).

L'excentricité des foyers produit des déviations anormales de rayons lumineux ; mais ces déviations sont très faibles, grâce au fait que le foyer correspondant à chaque zone infiniment petite d'anneau se trouve soit sur le rayon central de cette zone, soit très près dudit rayon.

Mais, en présence de la multiplicité des foyers, on doit se demander ce que signifie l'expression de distance focale d'un anneau.

Cette expression s'applique à celui des foyers qui se trouve sur l'axe optique de la lentille. Lorsqu'on déplace un écran perpendiculaire à cet axe, les images focales obtenues présentent un changement de forme et d'éclat caractéristiques, selon qu'on est en avant ou en arrière de ce foyer, qui correspond sensiblement à la bissectrice de l'angle embrassé par l'anneau et diffère très peu du centre de l'optique. C'est également en ce point que les images focales sont les plus petites.

Outre les erreurs que nous venons d'évaluer, il en est d'accidentelles résultant, non de la nature du profil, mais de son mode d'exécution. Lorsqu'il s'agit de petits appareils, on produit la face courbe des anneaux au moyen de frottoirs placés à l'extrémité de flèches oscillantes qui

réalisent matériellement le centre et le rayon de courbure du profil. Pour les grands appareils on remplace ces flèches par des coulisseaux se déplaçant dans des glissières circulaires de profil et de position convenables. Dans l'un et l'autre cas, et surtout dans le second, le système comporte des erreurs sur la longueur du rayon, dont on peut apprécier l'importance à l'aide de la formule (6). Il comporte, en outre, des erreurs sur la position du centre de courbure ou sur l'angle A.

3. **Variation de l'angle** A. — Soit dA l'erreur d'exécution sur l'angle A. A l'angle A + dA correspond un angle $i + di$ donné par la table et, par suite, deux nouvelles valeurs de ρ et de K. Il suffit d'introduire ces deux nouvelles valeurs dans la formule (6) pour avoir la distance focale réelle.

En faisant le calcul pour les deux bords des anneaux n°s 2 et 15 et supposant $dA = 30'$, déviation qui peut être atteinte dans une construction peu soignée, on trouve les positions de foyers indiquées en f'_1, f'_2 sur les *fig*. 5 et 6.

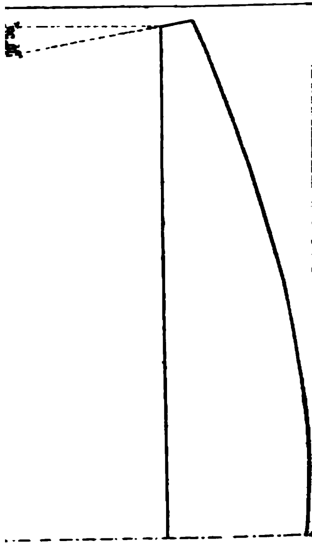
Dans ces deux cas le lieu des foyers de l'anneau continue à rencontrer l'axe optique de la lentille, mais en avant ou en arrière du centre F, selon que dA est positif ou négatif. Il en résulte une déviation générale du faisceau émanant d'une source placée au centre F. D'autre part, le rayon passant par celui des foyers nouveaux qui est situé sur l'axe optique n'est plus la bissectrice de l'angle embrassé par l'anneau. Cette dernière perturbation peut néanmoins n'être pas révélée par la vérification ordinaire de la distance focale, dont les résultats ne sont nets que pour le foyer situé sur l'axe optique et qui n'indique pas la position anormale des autres foyers.

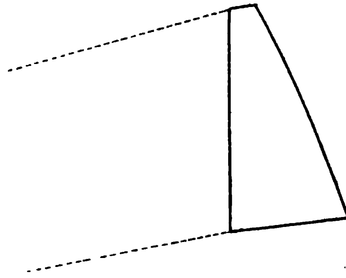
4. **Variations de l'indice de réfraction.** — On adopte pour les calculs des optiques l'indice de réfraction 1,53 qui

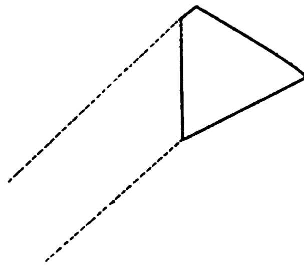
correspond à la raie D du spectre solaire et qui est de longtemps sensiblement constant pour le verre d'opti de Saint-Gobain. Les variations de cet indice provenant de la fabrication du verre sont peu importantes, mai n'en est pas de même des variations dues à la compo tion chromatique de la lumière et à sa dispersion. Suiv le point du spectre où l'on se place, l'indice peut va de $1^{m},52$ à $1^{m},54$ en passant par $1^{m},53$. La formule donne encore le moyen d'évaluer les effets de ces d nières variations. Il suffit d'y remplacer ρ et K par valeurs correspondant à l'indice considéré. Par exemp en adoptant l'indice 1,54, nous avons obtenu pour anneaux n°s 2 et 15 les positions de foyers indiquées φ_1 et φ_2 sur les *fig*. 5 et 6. Ces positions mettent en é dence les pertes croissantes dues à la dispersion à par du centre de la lentille.

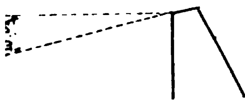
5. **Tracé graphique des lentilles.** — Les diverses consid rations qui précèdent donnent le moyen de tracer grap quement le profil des lentilles dioptriques.

En effet soient, dans la partie de la lentille considér (*fig*. 7) : *e*, l'épaisseur normale du joint qui est généralé ment constante et égale à $0^{m},004$; E, la plus grand épaisseur de l'anneau, que l'on se donne *a priori*. Traçon deux droites AC, BD, parallèles à la face intérieure de l lentille et aux distances *e* et E de cette face. Sur ces deu droites marquons les points où elles sont rencontrées pa les rayons réfractés correspondant à des rayons focau successifs, par exemple de degré en degré. Les rayon et les centres de courbure des profils de lentilles passan par ces divers points sont donnés par les formules d notre mémoire inséré aux *Annales des Ponts et Chaus sées* d'août 1894. On peut, au moyen de calculs simples en faire une table ou tracer deux courbes, l'une donnan de degré en degré les centres correspondant aux point









de division de la droite AC, et l'autre correspondant aux points de division de la droite BD.

Il convient de commencer le tracé par le bord extrême de la lentille et d'établir les anneaux successifs en se rapprochant du centre. Dans ces conditions on connaît toujours le point de départ d'un anneau sur la droite AC et le centre de courbure théorique situé sur la courbe qui correspond à cette droite.

L'arc de cercle que l'on substitue pratiquement à la courbe théorique de l'anneau doit être tangent à ladite courbe à ses deux extrémités. Son centre doit donc se trouver sur le rayon AO. Soit O ce point ; traçons le cercle AB de rayon AO. En joignant le point B au point correspondant de la courbe des centres de BD, on doit retomber sur le centre O. Deux tâtonnements rapides suffisent pour placer le poiut O sur le rayon AO de façon que cette condition soit remplie. Le point B étant ainsi trouvé, on trace le rayon focal et le rayon réfracté correspondants, et on a le point de départ de l'anneau suivant, qui peut être construit de la même façon.

Le profil de lentille ainsi obtenu n'a que la précision d'un tracé graphique. Les centres O, définis par la rencontre de deux droites très peu inclinées l'une sur l'autre, ne peuvent être placés sur l'épure avec la précision nécessaire au constructeur. Au contraire, la position et la forme des anneaux sont donnés par l'épure assez exactement pour qu'il n'y ait plus qu'à procéder au calcul usuel de la lentille sans passer par les tâtonnements si longs et si fastidieux que comporte le calcul employé seul.

6. **Mode de vérification des anneaux dioptriques.** — Jusqu'ici, pour avoir les distances focales des divers anneaux d'une lentille, on s'est borné à prendre les foyers conjugués d'une source de faibles dimensions placée à une trentaine de mètres en avant de la lentille et à en déduire les dis-

tances focales principales par l'application de la formule $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$.

Nous avons établi, dans notre mémoire de 1894, que, pour des lentilles ayant exactement le profil théorique, cette formule n'était applicable que jusqu'à des angles d'incidence inférieurs à 30°. Il résulte des considérations précédentes que, même dans ces limites, la formule n'est correcte que pour le foyer situé sur l'axe optique et le point de l'anneau qui lui correspond.

On le vérifie expérimentalement en isolant successivement de petites zones annulaires dans chaque élément dioptrique. Les foyers conjugués donnés par ces diverses zones diffèrent les uns des autres, surtout pour l'élément central où ils peuvent, du centre au bord, être éloignés de plusieurs centimètres. On constate d'ailleurs, dans ces expériences, que la détermination des foyers conjugués n'est pas très sensible et comporte une incertitude de plusieurs millimètres.

Ces difficultés ont conduit à rechercher une méthode plus sûre pour trouver pratiquement le point où doit être placé le centre de la source lumineuse. Après de nombreux essais, on s'est arrêté au système suivant :

Sur l'axe optique de l'élément considéré on place une source de faibles dimensions et symétrique par rapport à cet axe, telle que le cratère positif d'un arc électrique à courant continu et à charbons horizontaux, et on reçoit le faisceau émané de l'anneau sur un écran vertical situé à une trentaine de mètres. La section de ce faisceau est un spectre coloré annulaire dans lequel on isole facilement la lumière jaune très intense à laquelle correspond, pour le verre de Saint-Gobain, l'indice 1,53 admis dans le calcul de l'optique. La source peut être déplacée dans trois directions rectangulaires au moyen d'un appareil spécial à trois mouvements micrométriques. On règle sa position,

par tâtonnements, de façon que la partie médiane de la bande circulaire jaune coïncide avec la circonférence moyenne de la projection de l'anneau en essai. La position du cratère ainsi trouvée est prise comme étant celle du foyer situé sur l'axe optique.

L'opération est très sensible, en raison de la distance de l'écran qui multiplie les effets du déplacement du cratère. Elle correspond directement au problème pratique de la meilleure position à donner à une source par rapport à la lentille. Toutefois elle n'est pas possible pour l'élément central dans lequel la dispersion colorée, faible et variable d'un point à l'autre, ne permet pas d'isoler la lumière jaune. Dans ce cas on a été conduit à placer l'élément normalement à un faisceau de rayons solaires et à prendre comme foyer le point de plus grande concentration.

Ces diverses mesures ne donnent que la position du point à prendre comme foyer moyen, ou foyer principal de chaque élément. Pour juger de la précision avec laquelle l'ensemble de l'anneau a été exécuté, il faut encore connaître l'étendue et la répartition de la surface sur laquelle se trouvent les autres foyers. On peut en avoir une idée en répétant l'opération sur des zones partielles de l'anneau. Nous avons essayé aussi de mesurer le volume focal des rayons solaires reçus sur l'anneau, mais ce procédé manque de sensibilité.

7. **Anneaux catadioptriques.** — La méthode employée pour les anneaux catadioptriques est la même que pour les anneaux dioptriques.

Soit Abc (*fig.* 8) un anneau catadioptrique, A l'angle au sommet du prisme, O et OM le centre et le rayon de courbure au point M de la face réfléchissante. Cherchons le foyer correspondant à ce point M.

Pour cela, faisons tomber sur la face extérieure Ab de l'anneau des rayons parallèles ayant l'incidence i'. Soient :

F′, le point de rencontre des rayons après une réfraction et une réflexion sur l'élément MM′, et F, leur point de ren-

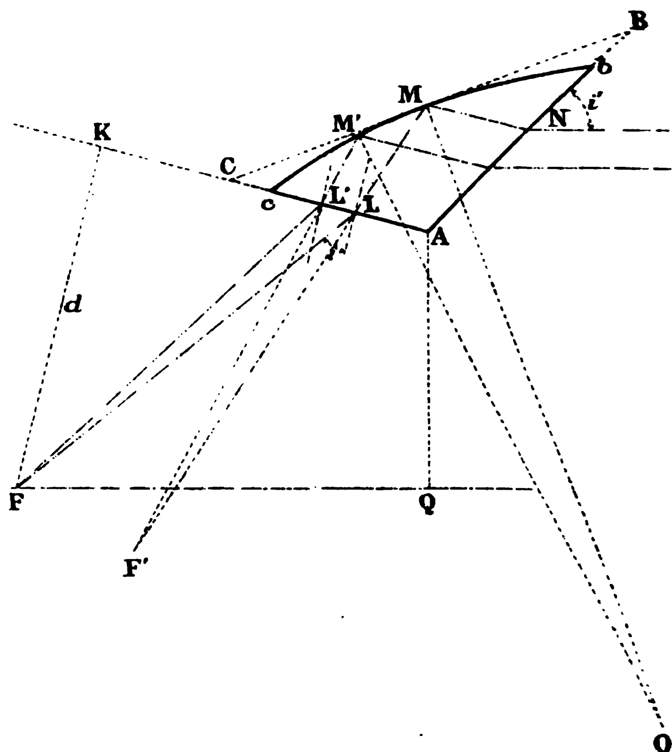


Fig. 8.

contre après une seconde réfraction. F est le foyer de l'élément. Désignons par :

i', r', i, r, les angles d'incidence et de réfraction sur les deux faces planes de l'anneau ; C, B, les angles de la tangente au point M avec les deux côtés de l'angle A ; γ, l'angle de cette tangente avec la base du triangle isocèle du sommet A ; on a

$$2\gamma = C - B ;$$

L′, L, d, f, e, les longueurs LF′, LF, FK, FQ, ML ; on a :

$$\sin i = n \sin r$$
$$\sin i' = n \sin r'$$
$$C - B = r' - r$$
$$R = \frac{ds}{d\gamma} = \frac{2ds}{d(C - B)},$$

r' étant constant, on a :

$$d(C - B) = - dr,$$

d'où

$$R = - \frac{2ds}{dr}.$$

D'ailleurs le triangle F′MM′ donne :

$$\frac{ds}{L' + e} = \frac{-dr}{\sin MM'F'} = \frac{-dr}{\sin\left(\frac{A - C + B}{2} - r\right)},$$

d'où

$$R = \frac{2(L' + e)}{\sin\left(\frac{A - C + B}{2} - r\right)};$$

ou, en tenant compte des relations :

$$L' = L \frac{n \cos^2 r}{\cos^2 i} = d. \frac{n \cos^2 r}{\cos^3 i} = Kd,$$

et

$$r = r' - C + B$$

(7) $$R = \frac{2(Kd + e)}{\sin\left(\frac{A - C + B}{2} - r\right)}$$

ou

(8) $$R = \frac{2(Kd + e)}{\sin\left(\frac{A - B + C}{2} - r\right)}$$

Les formules (7) ou (8) permettent de voir comment varie la position du point F quand on change l'un quelconque des divers éléments qui définissent l'anneau.

8. **Variations du rayon de courbure.** — Considérons d'abord le rayon de courbure. Prenons, comme exemples, les anneaux de coupole n° 1 et n° 16 de l'appareil en construction pour le phare de l'île Vierge. Suivant la règle usuelle, on a donné à la face réfléchissante de ces anneaux une courbure circulaire.

1° *Anneau n°* 1. — En appliquant successivement la formule (7) aux points *b* et *c* de l'anneau, on obtient les deux positions de foyer f_1 et f_2 de la *fig*. 9 (p. 130 *bis*), qui sont distantes l'une de l'autre d'environ 120 millimètres et situées de part et d'autre du centre optique sur les rayons joignant ce centre aux bords de l'anneau.

2° *Anneau n°* 16. — Les foyers extrêmes f_1 et f_2 occupent les positions indiquées sur la *fig*. 10, distantes l'une de l'autre d'environ 80 millimètres.

On voit ainsi que la substitution de la forme circulaire au profil théorique des anneaux catadioptriques fait varier la distance focale dans des limites étendues, comme nous l'avons constaté pour la partie dioptrique. Le foyer conventionnel correspond à peu près au milieu de l'angle vertical embrassé par l'anneau. Les conséquences de ces anomalies sont du même genre que celles signalées pour les anneaux lenticulaires.

9. **Erreur d'orientation sur la face réfléchissante.** — Supposons qu'on fasse tourner la face réfléchissante d'un angle ε, de droite à gauche, autour de son milieu. En chaque point, l'angle C — B augmentera de 2ε, et l'angle r diminuera de 2ε.

Si donc on prend la formule (7) mise sous la forme :

$$d = \frac{R}{2K} \sin\left(\frac{A - C + B}{2} - r\right) - \frac{e}{K}, \tag{9}$$

on aura, en désignant par d' la nouvelle valeur de d :

$$d' = \frac{R}{2K'} \sin\left(\frac{A - C + B}{2} - r + \varepsilon\right) - \frac{e}{K'},$$

K′ étant la valeur de K correspondant à $r - 2\varepsilon$.

Appliquons cette formule successivement aux deux sommets b et c des anneaux n°s 1 et 16, en supposant $\varepsilon = 30'$.

Les foyers extrêmes se trouvent alors aux points f_1', f'_2 des *fig.* 9 et 10. Ces points correspondent à la section verticale de l'anneau. Le lieu des foyers pour des sections quelconques est approximativement la surface conique engendrée par la rotation autour de l'axe optique de la droite $f'_1f'_2$. On voit par là que les excentricités des foyers sont très importantes, dans le cas que nous considérons.

10. Erreur sur la direction de la face d'entrée Ac. — Supposons que l'angle A soit augmenté de ε par une erreur commise sur la direction de la face Ac. Dans la formule (9) il faut remplacer A par $A + \varepsilon$, C par $C - \varepsilon$, r par $r + \varepsilon$, et K par la valeur K′ de ce coefficient correspondant à $r + \varepsilon$. On a ainsi :

$$d' = \frac{R}{2K'} \sin\left[\frac{A - C + B}{2} - r\right] - \frac{e}{K'}.$$

Appliquons cette formule successivement aux deux sommets b et c des anneaux n°s 1 et 16, en supposant $\varepsilon = 30'$. Nous trouvons que les foyers extrêmes occupent les positions φ_1, φ_2 des *fig.* 11 et 12.

11. Erreur sur la direction de la face de sortie Ab. — Supposons que l'angle A soit augmenté de ε par une erreur commise sur la direction de la face de sortie Ab. Prenons la formule (8) mise sous la forme :

$$(10) \qquad d = \frac{R}{2K} \sin\left(\frac{A - B + C}{2} - r'\right) - \frac{e}{K}.$$

Remplaçons-y A par $A + \varepsilon$, B par $B - \varepsilon$, r' par r' + valeur de l'angle de réfraction correspondant à i' + K par K', valeur de ce coefficient pour l'incidence velle. On a :

$$d' = \frac{R}{2K'} \sin\left(\frac{A - B + C}{2} - r' + \varepsilon - dr'\right) - \frac{e}{K'}.$$

Appliquons cette formule successivement aux som *b* et *c* des anneaux n°s 1 et 16, en supposant $\varepsilon = 30'$. trouvons que les foyers extrêmes occupent les posi φ'_1, φ'_2 des *fig.* 11 et 12.

Les déviations focales provenant d'erreurs sur les di tions A*c*, A*b* ont des grandeurs analogues et beau moins importantes que celles provenant d'erreurs su face réfléchissante. On conçoit par là les difficultés q éprouve dans la pratique à compenser ces dernières err au moyen de modifications opérées sur les faces A*c* ou

12. **Variations de l'indice de réfraction.** — Supposons l'indice passe de la valeur moyenne 1,53 à 1,54. Ap quons la formule (10) successivement aux points *b* e en remplaçant r' et K par les valeurs nouvelles corresp dant à chacun de ces points et au nouvel indice. P l'anneau n° 1, les foyers se trouvent à environ 4 m mètres des foyers f_1 et f_2 et sur le rayon central corr pondant. Pour l'anneau n° 16, ils s'en trouvent à envi 1 millimètre. Ces positions concordent avec le fait co que les anneaux catadioptriques ne donnent pas de disp sion sensible.

13. **Mode de vérification des anneaux catadioptriques.** — Da notre mémoire de 1894, nous avons établi que la form dite des « foyers conjugués » était inapplicable aux annea catadioptriques.

On peut songer à la remplacer, dans chaque cas, p

le calcul trigonométrique du trajet du rayon lumineux émané d'une source située sur l'axe optique à une distance donnée.

Mais un calcul de ce genre ne peut être correct que pour un point déterminé de l'anneau, et il est bien difficile de conduire l'expérience de façon qu'elle s'applique exactement à ce point. D'ailleurs, comme pour les anneaux dioptriques, cette expérience manque de sensibilité.

Par suite, on a été conduit à appliquer la méthode de projection déjà indiquée. Sur l'axe optique de l'anneau on place le cratère positif d'un arc électrique à courant continu et à charbons horizontaux, et on reçoit le faisceau émané de l'anneau sur un écran vertical situé à une trentaine de mètres. Au moyen de l'appareil spécial, à triple mouvement micrométrique, cité plus haut, on amène la source dans une position telle que la section du faisceau par l'écran présente une forme exactement annulaire, dont la circonférence moyenne coïncide avec celle de la projection de l'anneau. La position du cratère positif ainsi trouvée est prise comme étant celle du foyer situé sur l'axe optique. La largeur de la bande annulaire, qui est dans ce cas uniformément blanche, est ensuite comparée à celle de l'anneau augmentée de la divergence résultant des dimensions de la source. Cette comparaison donne une mesure de la précision réalisée sur l'ensemble de l'anneau.

On ne doit admettre comme bien mesurées que les positions de foyer auxquelles correspond une largeur de bande comprise entre certaines limites ; car une divergence anormale, dont la cause peut être un défaut localisé sur un point de l'anneau, est de nature à vicier la recherche du foyer.

14. **Conclusions.** — Un anneau dioptrique ou catadioptrique n'a pas un seul foyer, mais une infinité de foyers corres-

pondant chacun à un des points de l'anneau et occupant une surface assimilable approximativement à un cône de révolution autour de l'axe optique. Le sommet de ce cône est le seul de ces foyers qui soit commun à une série de points répartis sur une circonférence à la surface de l'anneau. Ce foyer est le seul dont on détermine usuellement la position : à cet effet, les méthodes par projections que nous avons indiquées plus haut sont celles qui répondent le mieux aux besoins de la pratique. C'est aussi le plus important des foyers ; mais la connaissance de sa position ne suffit pas pour apprécier l'exactitude atteinte dans l'exécution d'un anneau. Il est nécessaire, en outre, de déterminer un second élément qui dépend de la répartition de la surface focale de part et d'autre de son sommet et que nous appellerons *divergence propre de l'anneau*. Cet élément de vérification peut être obtenu soit en répétant les opérations de recherche des foyers, pour des zones annulaires partielles successivement isolées à la surface des anneaux, soit en mesurant la divergence totale du faisceau émané d'un anneau, lorsqu'on place à son foyer principal le cratère positif d'un arc à courant continu dirigé suivant l'axe optique. Le premier de ces procédés est le seul pratique pour les anneaux dioptriques, en raison de la dispersion colorée qui ne permet pas de mesurer exactement la divergence due aux aberrations de l'optique. Le second, au contraire, s'applique aux anneaux catadioptriques et donne à la fois plus de commodité dans l'expérience et plus de précision dans les mesures.

CHAPITRE II.

Rendement théorique des appareils optiques.

1. **Puissance lumineuse des appareils.** — On prend comme puissance lumineuse d'un appareil le résultat d'une mesure photométrique faite par un observateur placé sur l'axe optique à une distance assez grande pour que tous les rayons lumineux du faisceau puissent y être considérés comme émanés d'un seul point.

Des mesures de ce genre ont été faites en nombre considérable sur tous les appareils ou parties d'appareils en service, avec toutes les sources usitées. Mais, comme ces sources sont dissymétriques, au moins par rapport au plan focal, et qu'elles sont vues sous des formes et avec des éclats différents des divers points d'une optique, il est difficile de déduire des chiffres obtenus les pouvoirs lumineux relatifs des éléments d'un appareil, et notamment des parties dioptrique et catadioptrique, dont nous avons déjà montré que les effets optiques sont très différents.

Pour faire une comparaison de cette nature, il est indispensable d'admettre que tous les éléments de l'appareil considéré soient éclairés par une source identique et, par suite, de supposer celle-ci sphérique et formée par un solide opaque incandescent, dont l'éclat intrinsèque soit uniforme sur toute sa surface. Cette hypothèse permet de calculer la puissance lumineuse d'un élément quelconque. Nous ferons d'abord ce calcul pour une lentille dioptrique annulaire.

2. **Lentille dioptrique annulaire.** — Dans notre mémoire de 1894 nous avons démontré qu'une source sphérique à

lumière monochromatique donne, au sortir d'une lentille plan convexe, un faisceau dont la divergence est très sensiblement constante, dans un plan passant par l'axe optique, pour tous les points de la lentille situés dans ce plan. Mais, pour chacun des mêmes points, la divergence dans un plan perpendiculaire va, au contraire, en décroissant à mesure qu'on s'éloigne du centre. Il en résulte que, si on regarde, à travers une lentille plan convexe, une sphère située au foyer, on la voit se déformer suivant un ellipsoïde dont le grand axe passe par le centre de la lentille et qui s'allonge de plus en plus à mesure que l'on s'éloigne du centre.

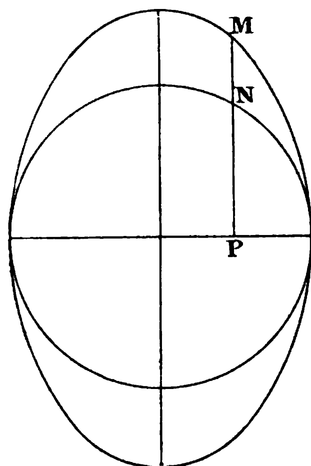


Fig. 13.

Si l'on trace sur cette sphère des méridiens équidistants ayant un pôle commun, et si l'on place ce pôle sur le rayon focal correspondant à la position de l'œil en face de la lentille, on observe les faits suivants.

Lorsque le pôle de la sphère et l'œil de l'observateur sont situés sur l'axe optique, la sphère apparaît comme

un cercle d'éclat uniforme divisé en secteurs égaux par des diamètres équidistants.

Lorsque l'œil s'éloigne du centre, le pôle étant constamment placé sur le rayon focal correspondant, le cercle se transforme en ellipse, et les diamètres cessent d'être équidistants, mais ils restent nets et rectilignes jusqu'à une grande distance de l'axe. Lorsque l'angle des rayons focaux avec l'axe approche de 40°, les diamètres de l'ellipse commencent à s'incurver légèrement près du contour. Mais, dans les limites d'amplitude usuelles pour les lentilles, on peut admettre le maintien de la rectilignité des diamètres. La déformation correspond donc à une dilatation des ordonnées dans un rapport constant. Appliquée à un cercle uniformément lumineux, cette dilatation donne une ellipse uniformément lumineuse, les deux courbes étant reliées l'une à l'autre par la relation :

$$\frac{MP}{NP} = \frac{a}{b},$$

a et b étant les axes de l'ellipse (*fig.* 13).

Considérons maintenant un cercle de rayon OB, tracé sur la face plane de la lentille et correspondant à l'incidence σ (*fig.* 14). Soient : 2ε, l'angle sous lequel la source est vue du centre O, et 2δ, l'angle sous lequel elle est vue du point B. ε et δ sont liés par la relation :

$$\sin\delta = \sin\varepsilon \cos\sigma.$$

A chaque point du cercle OB correspond un cône incident circonscrit à la source lumineuse et de section circulaire et un cône émergent de section elliptique dont le grand axe a pour valeur $\sin\varepsilon$, la section étant faite à la distance *un*, et pour petit axe $\sin\delta = \sin\varepsilon\cos\sigma$. Le faisceau émergent ayant pour base le cercle OB est composé d'une infinité de ces cônes elliptiques, tous identiques, mais dans lesquels les grands axes sont dirigés suivant

les rayons émanés du centre O, et les petits axes suivant les tangentes au cercle OB. A grande distance la puis-

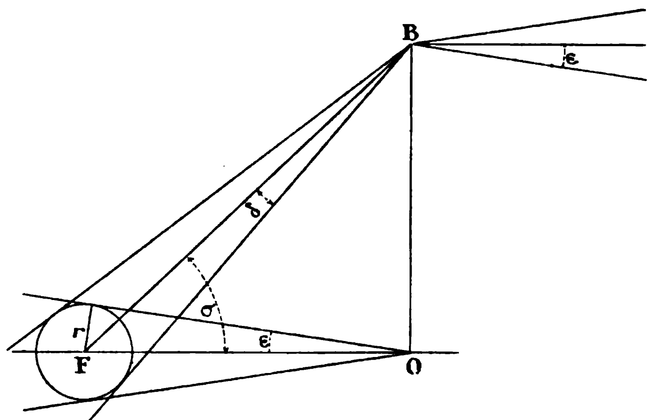


Fig. 14.

sance lumineuse perçue est la même que si tous ces cônes étaient superposés de manière à avoir leur sommet en O, et leur axe commun. Cherchons l'intensité lumineuse résultante.

La superposition des cônes peut être considérée comme obtenue par la rotation de l'un d'eux autour de son axe. On voit par là que le faisceau total comprendra un cône central d'intensité constante, à base circulaire de rayon égal au petit axe, et une zone conique annulaire d'intensité décroissant jusqu'à zéro et dont le rayon extrême sera égal au grand axe.

L'intensité lumineuse dans le cône central sera la même que si on superposait exactement toutes les ellipses de base, c'est-à-dire qu'en désignant par Φ le flux lumineux correspondant à la circonférence de rayon OB, toutes pertes déduites, elle sera égale à $\frac{\Phi}{\pi ab}$. Dans la zone annulaire l'intensité variera depuis la valeur précédente jusqu'à

zéro. Sa valeur sur la circonférence du rayon ρ est égale, d'après la *fig.* 15, à :

$$\frac{\Phi}{\pi ab} \times \frac{2\omega}{\pi},$$

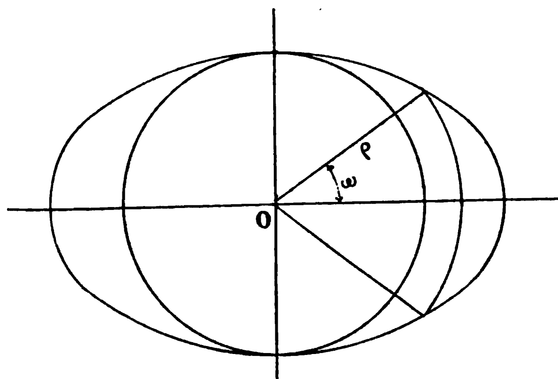


Fig. 15.

ω étant lié à ρ par l'équation :

$$\mathrm{tg}^2\,\omega = \frac{b^2\,(a^2 - \rho^2)}{a^2\,(\rho^2 - b^2)}.$$

On reconnait facilement que la courbe des intensités est tangente à deux horizontales, suivant la *fig.* 16.

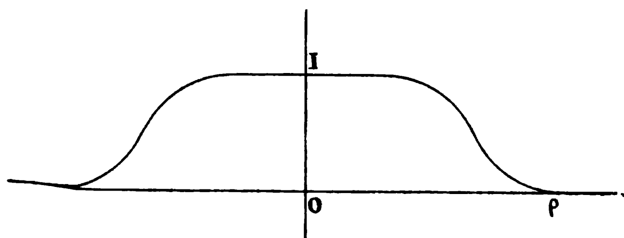


Fig. 16.

Cela posé, cherchons la puissance lumineuse corres-

pondant à un élément de lentille annulaire compris entre les incidences σ et $\sigma + d\sigma$.

Si du foyer comme sommet on trace les cônes limitant ces deux incidences, le flux lumineux compris entre ces deux cônes, en désignant par r le rayon de la source lumineuse, et par i son éclat intrinsèque, sera égal à :

$$\pi r^2 i \times 2\pi \sin \sigma d\sigma.$$

Cette quantité doit être diminuée des pertes par réflexion sur la surface d'entrée et sur la surface de sortie de la lentille et de la perte par absorption dans le verre. Soit K le coefficient, plus petit que l'unité et variable avec l'incidence, par lequel elle devra être multipliée pour tenir compte de ces pertes. L'intensité du faisceau émané de l'élément considéré sera égale à :

$$\frac{2K\pi^2 r^2 i \sin \sigma d\sigma}{\pi ab} = 2K\pi f^2 i \operatorname{tg} \sigma d\sigma,$$

valeur proportionnelle à l'éclat intrinsèque de la source, comme l'a déjà signalé M. l'Inspecteur Général Bourdelles.

Ayant ainsi la valeur de l'intensité lumineuse d'un élément quelconque de la lentille, on aura l'intensité totale en décomposant le flux lumineux de la source au moyen de cônes correspondant à des incidences régulièrement croissantes, par exemple de degré en degré. Pour chacune de ces incidences on calculera la valeur de l'expression ci-dessus. La somme de ces valeurs donnera l'intensité totale.

A titre d'exemple, nous avons fait ce calcul pour $f = 0^m,70$, en supposant $i = 10.000$ (1 bec carcel par centimètre carré). Les résultats en sont inscrits dans le tableau suivant.

TABLEAU N° 1.

Puissance lumineuse et divergence des éléments annulaires dioptriques pour $f = 0^m,70$ et $r = 0^m,0153$.

σ (1)	K (2)	INTENSITÉ pour chaque zone de 1° (3)	INTENSITÉ totale de 0° à σ° (4)	$b = \sin \varepsilon \cos \sigma \times 1000$ (5)	OBSERVATIONS (6)
1°	0.97	4,56	4,56	21,81	K est égal au produit de 2 facteurs C, C′ représentant, le premier les pertes par réflexions calculées dans notre mémoire de 1894, le second les pertes par absorption, évaluées en prenant 0,986 comme coefficient de transparence du verre, le centimètre étant l'unité de longueur et l'épaisseur moyenne de la lentille étant supposée égale à 2 centimètres. Le rayon $r = 0^m,0153$ ($\varepsilon = 1°15'$) a été adopté comme se rapprochant de celui des manchons Auer en service dans les phares. Les valeurs de *b* sont prises à 1.000 mètres de la lentille.
5°	0.89	37,55	104,63	21,76	
10°	0.89	79,77	418,74	21,55	
15°	0.89	123,11	947,04	21,17	
20°	0.89	168,08	1.696,72	20,63	
25°	0.88	215,16	2.677,41	19,93	
30°	0.87	264,71	3.900,82	19,08	
35°	0.86	316,94	5.379,92	18,09	
40°	0.85	372,23	7.129,17	16,95	
45°	0.82	430,33	9.163,53	15,69	
50°	0.79	491,04	11.496,25	14,31	

Ce tableau peut servir à tracer la courbe des intensités lumineuses dans une section éloignée du faisceau. Les valeurs de *b* donneront les abscisses, et les chiffres inscrits dans la colonne 4, les ordonnées de cette courbe.

On voit par le tableau que K est peu variable, au moins jusqu'à 35° ou 40°. Il est permis de le supposer constant et égal à sa valeur moyenne dans l'étendue de la lentille. Dans cette hypothèse l'intensité totale d'une lentille annulaire ayant une amplitude 2σ est donnée par la formule :

$$I = 2K\pi f^2 i \int_0^\sigma \operatorname{tg} \sigma d\sigma = 2K\pi f^2 i \log \frac{1}{\cos \sigma}.$$

3. **Éclat intrinsèque des lentilles annulaires.** — Reprenons l'élément de la lentille dont la puissance lumineuse est

égale à :

$$2K\pi f^2 i \operatorname{tg} \sigma d\sigma\,;$$

en divisant ce chiffre par la surface de l'élément prise sur sa face plane et, par suite, égale à $\pi f^2 d\,(\operatorname{tg}^2 \sigma)$, ou $\frac{2\pi f^2}{\cos^2 \sigma} \operatorname{tg} \sigma d\sigma$, on obtient pour valeur de l'éclat intrinsèque de l'élément :

$$e = Ki \cos^2 \sigma.$$

Cette valeur de l'éclat est spéciale à la lentille plan convexe. Pour un autre profil, l'expression serait différente. En particulier, on aurait $e = Ki$ pour le profil correspondant au minimum de déviation, condition dite « de Prazmowski » dans la construction des objectifs de lunettes ou de photographie, et que M. Ch.-A. Stevenson a appliquée aux lentilles de phares dites « équiangulaires ».

L'éclat moyen d'une lentille plan-convexe d'amplitude totale 2σ est égal à :

$$\frac{2K\pi f^2 i \log \frac{1}{\cos \sigma}}{\pi f^2 \operatorname{tg}^2 \sigma} = \frac{2Ki}{\operatorname{tg}^2 \sigma} \log \frac{1}{\cos \sigma}.$$

4. **Anneaux catadioptriques annulaires.** — La méthode appliquée aux éléments dioptriques s'applique aux éléments catadioptriques, avec cette différence que les faisceaux élémentaires émergents, au lieu d'être composés de cônes elliptiques, sont formés de cônes circulaires de même ouverture que les cônes incidents. Il résulte de là que le flux lumineux correspondant à un élément annulaire compris entre les cônes d'incidences σ et $\sigma + d\sigma$, au lieu d'être divisé par πab, doit être divisé par πb^2 pour donner l'intensité lumineuse, b étant égal à sin δ ou

$\frac{r \sin \sigma}{h}$ (*fig.* 17). Cette intensité est, par suite, égale à :

$$\frac{2K\pi^2 r^2 i \sin \sigma d\sigma}{\pi r^2 \sin^2 \sigma} \times h^2 = 2K\pi h^2 i \frac{d\sigma}{\sin \sigma}.$$

A l'aide de cette formule on pourra, comme pour les lentilles, calculer, partie par partie, l'intensité d'un panneau catadioptrique.

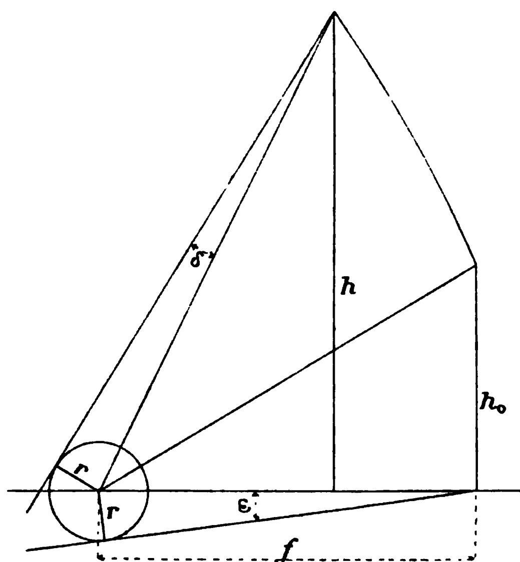


FIG. 17.

Les valeurs successives de h devront être prises sur l'épure du panneau.

Pour une étude générale on peut se servir de la valeur de h en fonction de σ lorsque les anneaux catadioptriques sont infiniment petits. La courbe des sommets des anneaux est, dans ce cas, donnée par :

$$h = C \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2},$$

et elle diffère très peu de la courbe des sommets lorsque les anneaux ont la grandeur usuelle.

L'expression précédente de l'intensité devient alors :

$$2K\pi i C^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\sigma}{2} \frac{d\sigma}{\sin \sigma}.$$

A titre d'exemple, nous avons fait ces calculs pour un panneau de $0^m,70$ de distance focale, s'étendant de $\sigma = 30°$ à $\sigma = 90°$, et en supposant $i = 10.000$. Les résultats en sont inscrits dans le tableau suivant.

TABLEAU N° 2.

Puissance lumineuse et divergence des éléments annulaires catadioptriques pour $f = 0^m,70$ et $r = 0^m,0153$.

σ (1)	K (2)	INTENSITÉ pour chaque zone de 1° (3)	INTENSITÉ totale à partir de $\sigma = 30°$ (4)	$b = 1000 \times \frac{\sin \varepsilon \sin \tau}{\frac{\operatorname{tg} 30°}{\operatorname{tg} 15°} \operatorname{tg} \frac{\tau}{2}}$ (5)	OBSERVATIONS (6)
35°	0.83	350,55	1.625,75	18.52	K est égal au produit de 2 facteurs C, C' représentant, le premier les pertes par réflexion calculées dans notre mémoire de 1894, le second les pertes par absorption évaluées en prenant 0,986 comme coefficient de transparence du verre et le parcours du rayon dans les anneaux comme égal à 6 centimètres, le centimètre étant l'unité de longueur.
40°	0.83	418,94	3.580,96	17.99	
45°	0.84	494,75	5.899,58	17.41	
50°	0.84	579,77	8.624,13	16.77	
55°	0.84	676,24	11.807,54	16.07	
60°	0.84	786,75	15.514,11	16.34	
65°	0.84	914,92	19.824,65	14.56	
70°	0.84	1.064,82	24.839,13	13.75	
75°	0.84	1.242,29	30.683,48	12.91	
80°	0.84	1.454,61	37.516,17	12.06	
85°	0.84	1.711,62	45.540,09	11.18	
90°	0.84	2.026,38	55.016,45	10.30	

Ce tableau peut servir, comme précédemment, à tracer la courbe des intensités lumineuses dans une section éloignée du faisceau. Les valeurs de b donneront les abscisses, et les chiffres inscrits dans la colonne 4 les ordonnées de cette courbe.

On voit que K est encore très peu variable. Si on le suppose constant et égal à sa valeur moyenne dans la région des anneaux, on aura l'intensité totale par la formule :

$$I = 2K\pi i C^2 \int_{\sigma_0}^{\sigma} \frac{\mathrm{tg}^2 \frac{2}{\sigma}}{\sin \sigma} d\sigma = 2K\pi i C^2 \left[\mathrm{tg}^2 \frac{\sigma}{2} - \mathrm{tg}^2 \frac{\sigma_0}{2} \right].$$

La constante C est déterminée dans chaque cas par la valeur connue de h correspondant à σ_0.

5. Éclat intrinsèque des anneaux catadioptriques annulaires. — Reprenons l'élément d'anneau catadioptrique dont la puissance lumineuse est égale à :

$$2K\pi i C^2 \, \mathrm{tg}^2 \frac{\sigma}{2} \frac{d\sigma}{\sin \sigma}.$$

La projection de cet élément sur un plan vertical a pour surface :

$$\pi C^2 d \left[\mathrm{tg}^2 \frac{\sigma}{2} \right] = \pi C^2 \frac{\mathrm{tg} \frac{\sigma}{2}}{\cos^2 \frac{\sigma}{2}} d\sigma.$$

Par suite, on a pour valeur de l'éclat intrinsèque de l'élément :

$$e = 2Ki \frac{\mathrm{tg} \frac{\sigma}{2} \cos^2 \frac{\sigma}{2}}{\sin \sigma} = Ki.$$

Donc, aux pertes par réflexion ou par absorption près, l'éclat intrinsèque des anneaux catadioptriques est constant et égal à celui de la source.

C'est la confirmation des avantages théoriques déjà signalés des anneaux catadioptriques dans les appareils lenticulaires.

6. **Courbes théoriques des intensités lumineuses dans une section éloignée du faisceau.** — Les courbes tracées sur la *fig*. 18 (p. 150 *bis*), à l'aide des chiffres contenus dans les tableaux n° 1 et n° 2, donnent la répartition théorique des intensités lumineuses dans la section droite du faisceau émané d'un appareil, pour les cas suivants :

La courbe n° 1 donne les intensités et les divergences pour des lentilles annulaires de distance focale égale à $0^m,70$ et d'ouverture comprise entre 0° et 50°. Les intensités réelles s'obtiennent en multipliant les ordonnées par i ; les demi-divergences pour $r = 0^m,0153$ sont exprimées en mètres à 1 kilomètre de distance. Ces divergences ne s'appliquent, pour chaque amplitude, qu'à la zone d'intensité maximum ; nous avons négligé les zones d'intensité décroissante dont la divergence totale est constante. Les ordonnées de la courbe sont ainsi un peu inférieures à la réalité.

La courbe n° 2 donne les intensités et les divergences pour des panneaux catadioptriques complets ayant même foyer et même source que les lentilles précédentes et s'étendant de $\sigma = 30°$ à $\sigma = 90°$.

La courbe n° 3 s'applique à des panneaux catadioptriques complets établis dans les mêmes conditions, mais s'étendant de $\sigma = 45°$ à $\sigma = 90°$.

Les courbes n°s 4 et 5 s'appliquent respectivement à des panneaux catadioptriques ayant même profil que ceux des deux cas précédents, mais limités par deux plans verticaux passant par le foyer et faisant chacun un angle de 45° avec l'axe optique. Les panneaux ainsi définis sont dits « au quart ».

L'examen des courbes théoriques de la *fig*. 18 conduit aux conclusions suivantes :

La courbe du panneau catadioptrique commençant à 30° enveloppe à la fois celle correspondant aux portions de la lentille dépassant 30° et, jusqu'à $\sigma = 88°$, celle du

panneau catadioptrique commençant à 45°. Elle est dépassée par celle-ci entre $\sigma = 88°$ et $\sigma = 90°$, en raison de la plus grande valeur de h dans cette dernière; mais, comme les armatures métalliques servant de cadre aux anneaux ne permettent pas de dépasser $\sigma = 88°$, on peut dire qu'il est plus avantageux de faire commencer les anneaux catadioptriques à 30° qu'à 45° de l'axe.

L'avantage est encore plus marqué quand il s'agit de panneaux catadioptriques au quart, la différence entre les surfaces des deux courbes étant plus grande par rapport à leur superficie totale.

On voit combien l'intensité lumineuse est peu uniforme dans le faisceau, malgré la régularité de la source. Le maximum de la puissance lumineuse règne sur une largeur qui n'atteint pas la moitié de la divergence des éléments centraux de la lentille. Cette remarque est importante au point de vue des effets de la durée des éclats.

Un panneau au quart, qui reçoit de la source la moitié de la lumière reçue par un panneau embrassant 180°, ne donne pas la moitié de la puissance de celui-ci, le profil étant le même. Cela tient à ce que l'importance relative des parties dioptrique et catadioptrique n'est pas la même dans les deux cas. En revanche, dans le faisceau émis par un panneau au quart, les variations de la puissance lumineuse sont moins importantes et moins rapides.

7. **Lentilles dioptriques de feu fixe.** — Soient (*fig.* 19): F, le foyer; OF, l'axe optique; et OB, la face intérieure d'un appareil de feu fixe éclairé par la source lumineuse définie plus haut. Faisons une coupe horizontale de l'appareil passant par le point B. Comme l'a fait remarquer M. l'Inspecteur Général Bourdelles, l'observateur situé au loin sur l'axe FO recevra de la lumière non seulement du point B, mais aussi de tous les points situés entre B

et un point B′ tel que FB′ fasse avec FB l'angle δ. Dès lors, la portion de flux incident qui intéresse l'observateur est, pour l'incidence σ, comprise entre deux plans verti-

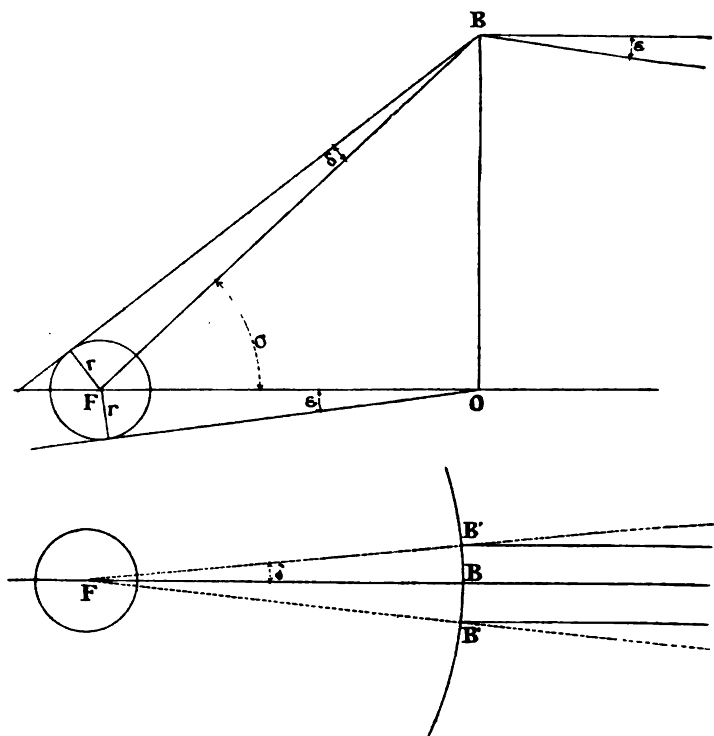


Fig. 19.

caux passant par le foyer et faisant entre eux l'angle 2δ. Elle a pour valeur :

$$\pi r^2 i \times 2 \sin\delta \cos\sigma d\sigma,$$

et l'intensité correspondante du faisceau émergent est égale à :

$$\frac{2K\pi r^2 i \sin\delta \cos\sigma d\sigma}{\pi ab} = 2Krfi \cos\sigma d\sigma.$$

Avec cette expression et en supposant comme précé-

demment $i = 10.000$ et $r = 0^{m},0153$, nous avons calculé le tableau suivant.

TABLEAU N° 3.

Puissance lumineuse des éléments dioptriques de feu fixe pour $f = 0^{m},70$ *et* $r = 0^{m},0153$.

σ	K	INTENSITÉ pour chaque zone de 1°	INTENSITÉ totale de $-\sigma$ à $+\sigma$	OBSERVATIONS
1°	0.97	3.63	3.63	Les valeurs de K sont celles inscrites dans le tableau n° 1.
5°	0.89	3.31	16.87	
10°	0.89	3.27	33.30	
15°	0.89	3.21	49.47	
20°	0.89	3.12	65.24	
25°	0.88	3.00	80.47	
30°	0.87	2.84	95.00	
35°	0.86	2.65	108.66	
40°	0.85	2.44	121.29	
45°	0.82	2.19	132.74	
50°	0.79	1.91	142.85	

Ce tableau peut servir à construire une courbe des intensités de la lentille en fonction de son amplitude verticale.

Si, comme précédemment, on suppose K constant et égal à sa valeur moyenne, on aura l'intensité totale par la formule :

$$I = 2Krfi \int_{+\sigma}^{-\sigma} \cos \sigma d\sigma = 4Krfi \sin \sigma.$$

8. **Éclat intrinsèque des lentilles de feu fixe.** — En divisant la puissance lumineuse élémentaire :

$$2Krfi \cos \sigma d\sigma$$

par la surface correspondante de la lentille, qui est égale à

$2f \sin \delta \times f \frac{d\sigma}{\cos^2\sigma} = 2fr \frac{d\sigma}{\cos \sigma}$, on a pour valeur de l'éclat intrinsèque :

$$e = \mathrm{K}i \cos^2\sigma,$$

valeur égale à l'éclat d'une lentille annulaire plan-convexe, comme on devait s'y attendre.

9. **Anneaux catadioptriques de feu fixe.** — Dans les anneaux catadioptriques la puissance lumineuse élémentaire pour l'incidence σ sera égale à :

$$\frac{2\mathrm{K}\pi r^2 i \sin \delta \cos \sigma d\sigma}{\pi b^2} = 2\mathrm{K}rhi \operatorname{cotg} \sigma d\sigma,$$

ou, en remplaçant h par sa valeur $\mathrm{C} \operatorname{cotg} \frac{\sigma}{2}$,

$$2\mathrm{K}ri\mathrm{C} \operatorname{cotg} \sigma \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} d\sigma.$$

A l'aide de cette expression, nous avons calculé le tableau suivant.

TABLEAU N° 4.

Puissance lumineuse des éléments catadioptriques de feu fixe pour $f = 0^m,70$ et $r = 0^m,0153$.

σ	K	INTENSITÉ pour chaque zone de 1°	INTENSITÉ totale de $-\sigma$ à $+\sigma$	OBSERVATIONS
35°	0.83	3.01	15.18	Les valeurs de K sont celles inscrites dans le tableau n° 2.
40°	0.83	2.91	29.94	
45°	0.84	2.79	44.14	
50°	0.84	2.36	56.20	
55°	0.84	2.20	67.54	
60°	0.84	2.02	78.01	
65°	0.84	1.81	87.48	
70°	0.84	1.56	95.78	
75°	0.84	1.26	102.70	
80°	0.84	0.92	108.02	
85°	0.84	0.52	111.46	
90°	0.84	0.05	112.70	

Ce tableau peut servir à construire une courbe des intensités de la partie catadioptrique de feu fixe considérée, en fonction de l'amplitude verticale.

Si l'on suppose K constant, on aura l'intensité totale par la formule

$$I = 4KriC \int_{\sigma_0}^{\sigma} \operatorname{cotg} \sigma \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} d\sigma$$

$$= 4KriC \left[\sigma - \sigma_0 - \left(\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} - \operatorname{tg} \frac{\sigma_0}{2}\right)\right].$$

10. **Éclat intrinsèque des anneaux catadioptriques de feu fixe.** — En divisant la puissance lumineuse élémentaire :

$$2KriC \operatorname{cotg} \sigma \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} d\sigma,$$

par la surface verticale correspondante qui est égale à $\frac{2h \sin \delta}{\operatorname{tg} \sigma} dh = 2C/r \operatorname{cotg} \sigma \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} d\sigma$. On a, pour valeur de l'éclat intrinsèque,

$$Ki,$$

valeur égale à l'éclat des anneaux catadioptriques annulaires, comme on devait s'y attendre.

11. **Courbes théoriques des intensités lumineuses d'un appareil de feu fixe.** — Les courbes tracées sur la *fig.* 20 à l'aide des chiffres contenus dans les tableaux n° 3 et n° 4 donnent les intensités lumineuses théoriques d'un appareil de feu fixe de $0^m,70$ de distance focale, éclairé par la source définie ci-dessus, pour les cas suivants :

La courbe n° 1 donne les intensités totales de lentilles ayant par rapport au plan focal des amplitudes comprises entre 0 et 50°. Les intensités réelles, pour des sources d'éclat i et de rayon r_1, s'obtiennent en multipliant les ordonnées par $i \frac{r_1}{r}$, r étant égal à $0^m,153$.

La courbe n° 2 donne les intensités pour des cou
catadioptriques s'étendant de $\sigma = 30°$ à $\sigma = 90°$.

La courbe n° 3 s'applique à des coupoles cata
triques s'étendant de $\sigma = 45°$ à $\sigma = 90°$.

L'examen de ces courbes conduit aux remarques
vantes :

La courbe n° 2 enveloppe à la fois la partie
courbe n° 1 dépassant 30° et la partie de la courbe
située au-dessous de 70°. Dans ces limites il est th
quement plus avantageux de faire commencer les an
catadioptriques à 30° qu'à 45°. D'ailleurs les diffi
pratiques de bonne exécution des anneaux catadioptr
les plus élevés doivent faire considérer l'avantage co
existant sur toute la hauteur de la coupole.

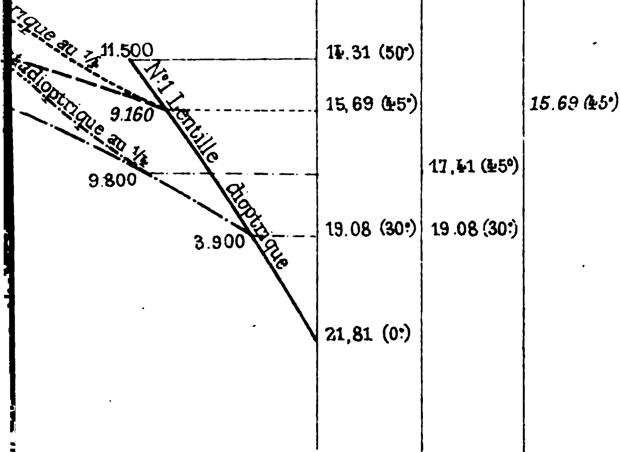
A l'encontre de ce qui a lieu dans la *fig.* 18
diverses courbes ci-dessus ont leur concavité dirigée
l'axe des abscisses, c'est-à-dire que les puissances
neuses croissent de moins en moins vite avec l'ampl
à mesure que l'amplitude augmente. Cela tient à ce
la largeur de chaque élément qui intéresse l'observa
diminue graduellement à mesure que la hauteur augm

CHAPITRE III.

Vérifications expérimentales.

Ainsi que nous l'avons signalé plus haut, les condi
théoriques servant de base aux formules du chapitre
cédent sont loin d'être exactement remplies da
pratique.

En premier lieu, il n'existe pas de source lumi
analogue à celle que nous avons dû admettre pour écl


Valeur des demi-divergences en mètres à 1000m.
9.19 (90°)
10,29 (90°)
14.31 (50°)
15,69 (45°)
15.69 (45°)
17,41 (45°)
19.08 (30°)
19.08 (30°)
21,81 (0°)
11.500
9.160
9.800
3.900
N°1 Lentille dioptrique
219
208

d'une manière identique les diverses parties d'un appareil et les comparer entre elles.

Les sources usitées ne sont symétriques que par rapport à un axe vertical. Leurs formes et leurs dimensions changent suivant la direction d'où elles sont observées, en même temps que leurs éclats intrinsèques, qui sont de plus très variables d'un point à l'autre d'une même source.

Lorsqu'on les place au foyer d'une lentille dioptrique, on obtient un faisceau dans lequel se reproduisent toutes les inégalités de la source. Si l'on n'utilise tout d'abord que la partie centrale de la lentille, on a en projection une image nette de la source. Lorsqu'on utilise toute la surface d'une lentille de grande amplitude, on a en projection une image peu nette, tant à cause de la dispersion colorée que parce que les images partielles provenant des parties de la lentille éloignées du centre ne se superposent pas exactement les unes aux autres. Cependant, bien qu'un peu confuse, la projection du faisceau représente toujours une image renversée de la source. La puissance lumineuse est variable suivant le point de cette image où se trouve l'observateur. Et l'on ne peut même pas rapporter cette puissance à l'éclat de la partie correspondante de la source, car cet éclat est variable suivant les inclinaisons des divers rayons focaux passant par cette partie.

Le faisceau émané de la partie catadioptrique est encore plus complexe.

Certains auteurs ont admis que les anneaux catadioptriques donnaient une image droite de la source, s'élevant ou s'abaissant lorsque la source s'élève ou s'abaisse.

Cela n'est vrai que pour les éléments catadioptriques de feu fixe ou pour des portions d'éléments annulaires limitées par une très faible amplitude horizontale. Si l'on considère un anneau complet et qu'on isole successivement ses divers points, on voit que l'image en projection

varie d'un point à l'autre. Pour des points situés en haut ou en bas sur le diamètre vertical de l'anneau (*fig.* 21), l'image est droite comme on le suppose généralement. Au contraire, pour des points situés sur un diamètre horizontal, l'image est renversée. Pour des points situés entre les précédentes, elle est inclinée.

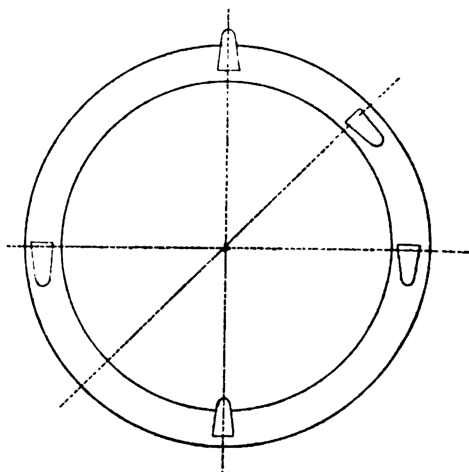


Fig. 21.

Il résulte de là que le faisceau total donné par un anneau catadioptrique complet est la superposition d'un nombre infini d'images toutes différemment placées. La projection de ce faisceau n'a plus aucun rapport avec aucune d'entre elles. Par suite, la puissance en un point de ce faisceau ne peut plus être comparée à l'éclat d'aucune partie de la source.

Dès lors, il n'est pas possible d'utiliser les mesures faites sur des faisceaux émanés de lentilles complètes ou de panneaux catadioptriques pour vérifier les formules qui lient le pouvoir lumineux à l'éclat de la source.

Mais, si l'on tient compte de la symétrie des sources

par rapport à leur axe vertical, et si l'on remarque que toutes les parties d'un appareil situées dans une bande horizontale de faible hauteur répartie de part et d'autre du plan focal voient la source d'une manière à peu près identique, on peut, en isolant des parties successives de cette bande et se plaçant dans chaque opération partielle au même point de l'image que donne soit un élément dioptrique, soit un élément catadioptrique suffisamment réduit, faire des mesures photométriques dont les résultats doivent satisfaire aux formules précédemment établies, sauf les différences résultant de la dispersion colorée et des erreurs de construction.

Nous avons procédé de la sorte sur des appareils de diverses distances focales et avec différentes sources. Dans tous les cas nous avons constaté la décroissance de l'éclat des lentilles du centre au bord et la constance relative de l'éclat des anneaux catadioptriques.

Comme exemple de ces mesures, nous donnons, dans la *fig.* 22, les résultats obtenus avec un bec Auer sur un panneau de l'appareil d'Armen, dont la lentille a, pour des motifs spéciaux, une ouverture totale de 86° 58′ 20″. Dans ce cas, c'est vers l'incidence de 30° qu'a lieu l'équivalence entre la lentille et les anneaux. Il en est de même dans la plupart des panneaux que nous avons examinés.

Les lentilles présentent au centre une supériorité marquée sur les anneaux. Cela tient à ce que les pertes par réflexion ou par absorption y sont beaucoup moindres que dans les anneaux.

Les mesures de puissance des diverses lentilles auxquelles nous avons procédé, limitées à la partie centrale, donnent les éclats de la zone médiane des diverses sources en usage, pour l'observateur situé sur une horizontale passant dans cette zone. Ces éclats, qui ne sont nullement les éclats moyens applicables à des lentilles

complètes ou panneaux catadioptriques (*), sont représen-

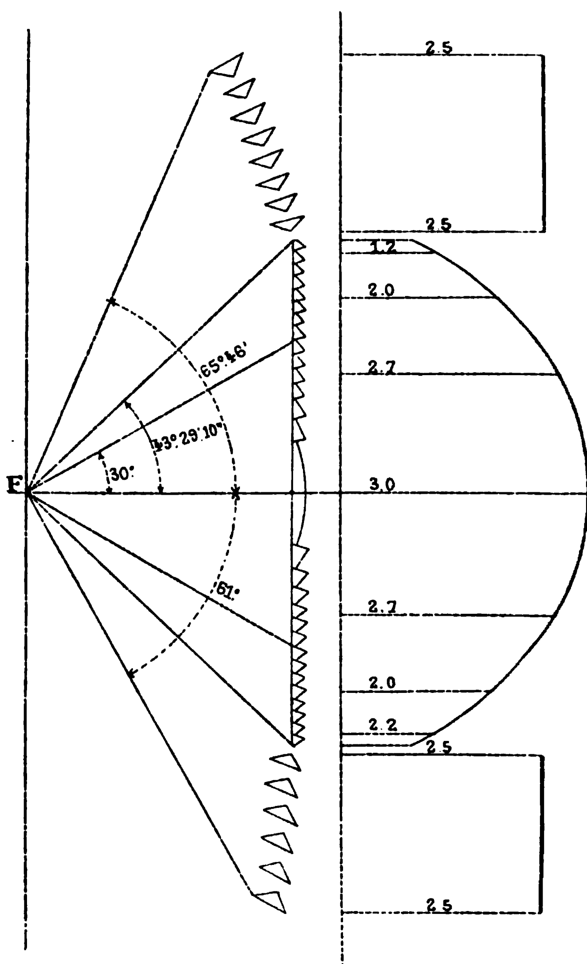
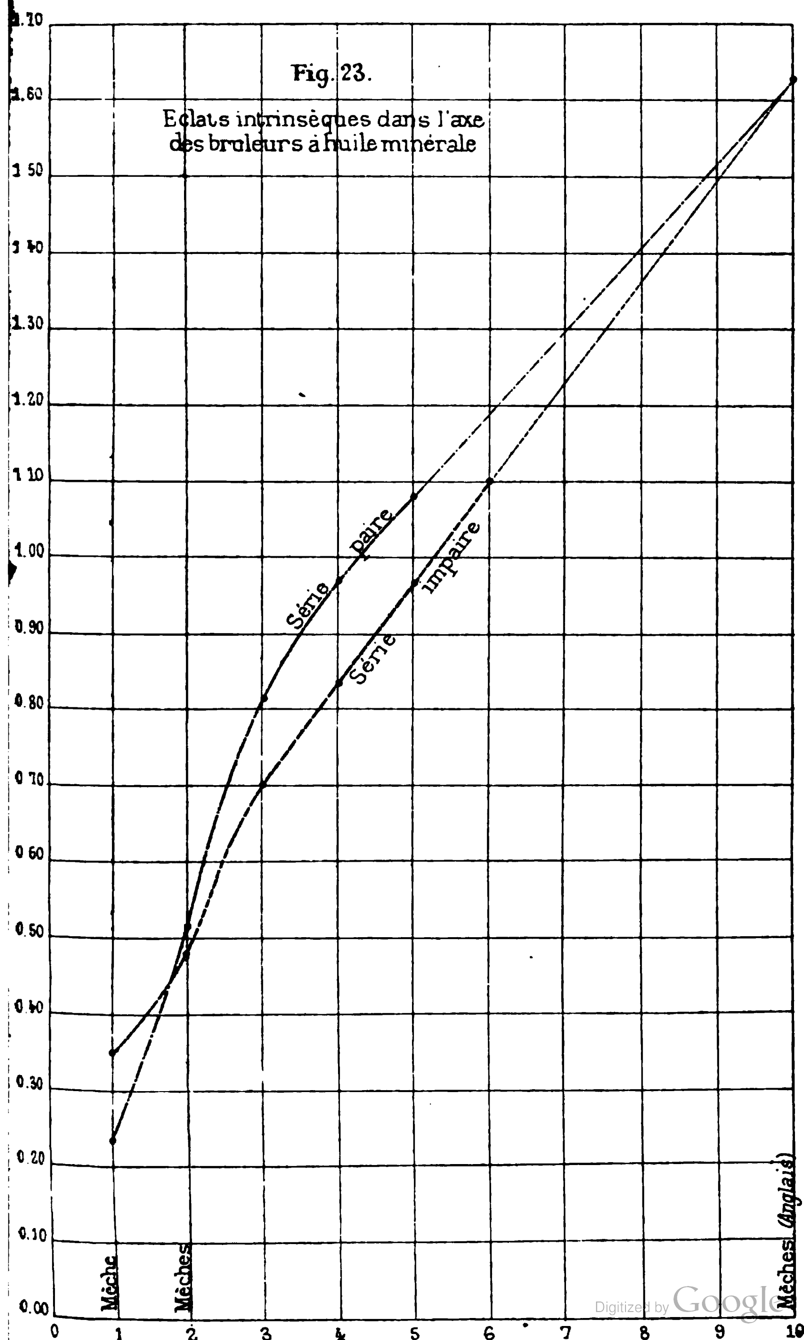


Fig. 22. — Appareil d'Armen. — Éclats intrinsèques.

sentés, en becs carcel par centimètre carré, par les

(*) Ces éclats moyens ont été donnés par M. l'Inspecteur Général Bourdelles, dans une notice présentée au Congrès Maritime de Londres de 1893.


Fig. 23.
Eclats intrinsèques dans l'axe des bruleurs à huile minérale
Série paire
Série impaire
Mèche
Mèches
Mèches (Anglais)
1.70
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

courbes de la *fig.* 23, qui s'appliquent : l'une, à la série des brûleurs à huile minérale à disque central et à mèches multiples, dont les diamètres successifs sont exprimés en centimètres par les nombres impairs à partir de 3 ; l'autre, aux brûleurs de même genre sans disque central, dont les diamètres successifs sont exprimés par les nombres impairs. Nous avons fait passer chacune de ces courbes par le point indiquant l'éclat d'un bec à 10 mèches anglais que nous avons pu mesurer, grâce à l'obligeance de la Corporation de Trinity-house.

Dans les mêmes conditions nous avons trouvé 3 pour éclat d'un bec Auer alimenté par du gaz d'huile à la pression de 1,50 d'eau, et 900 pour le cratère d'un arc à courant alternatif de 50 ampères.

Si l'on cherche à calculer les mêmes éclats en se servant d'éléments catadioptriques, au lieu des portions centrales de lentilles, on trouve des chiffres toujours plus faibles, et qui sont, en moyenne, les 85 centièmes des précédents. Si donc on désigne par K′ le coefficient supposé constant qui résume toutes les pertes à travers les anneaux catadioptriques, et K le même coefficient pour les lentilles dans une zone d'une amplitude d'environ 30°, on peut admettre, en moyenne,

$$\frac{K'}{K} = 0,85.$$

Ces divers résultats conduisent au maintien de la limite anciennement adoptée pour les lentilles et qui correspond à peu près à l'incidence de 30°. Il faut d'ailleurs ajouter que des convenances de construction conduisent parfois à dépasser cette limite pour appuyer les lentilles sur les pièces métalliques de l'armature.

L'emploi de lentilles dites équiangulaires dont l'éclat théorique est uniforme, dans le cas d'une source sphérique, petite, monochromatique et ayant même éclat dans

toutes les directions, semblerait devoir permettre de reculer la limite séparative de la lentille et des anneaux. Mais il faut remarquer que la limite de 30° est peu éloignée de l'incidence où commence à se produire, même dans les lentilles qui nous occupent, une dispersion colorée très notable.

D'autre part, les méthodes de vérification des optiques par projection sur un écran éloigné, qui ont été substituées aux anciennes méthodes d'observations faites à l'intérieur des appareils, ont multiplié dans une proportion très grande la précision et la sensibilité des mesures.

De leur côté, les constructeurs français ont apporté à leurs procédés de fabrication de grands perfectionnements, qui leur ont permis de réaliser des optiques dont l'exactitude est en rapport avec les nouveaux procédés de contrôle.

Il en est résulté une amélioration très notable du rendement des anneaux catadioptriques.

Ces anneaux, dont l'exécution présente des difficultés particulières à cause de leurs trois faces et de leurs triples chances d'erreur, perdaient autrefois leur avantage théorique à cause des défauts de construction qui s'y rencontraient. On trouvait entre leurs distances focales des différences de plusieurs centimètres, et leur divergence propre était très variable.

Dans les derniers appareils ces deux éléments caractéristiques de chaque anneau ont pu être maintenus dans des limites très étroites. Les distances focales, même pour des anneaux catadioptriques à grand rayon, sont réalisées à 10 ou 15 millimètres près, et la tolérance sur les divergences est tombée à 30 0/0 de la divergence théorique. Dans les appareils de feux électriques, de $0^{m},60$ de diamètre, on a atteint une exactitude plus grande encore.

Le rendement lumineux s'est accru parallèlement. Ainsi, dans l'appareil du phare électrique d'Eckmühl, construit par

MM. Sautter, Harlé et Cie, en 1897, l'éclat par centimètre carré, qui autrefois ne dépassait pas 450 becs carcel, a atteint 900 becs, avec la même source lumineuse. Les essais préliminaires de plusieurs autres appareils nouveaux font prévoir qu'à l'avenir des résultats analogues pourront être sûrement obtenus par nos constructeurs.

Dans ces conditions il ne paraît pas y avoir d'avantage marqué à modifier les profils des éléments entrant dans la constitution de nos appareils.

Au contraire, l'expérience démontre l'importance prédominante de la précision des optiques, au point de vue de leur pouvoir lumineux. Dans les projecteurs Mangin, l'éclat par centimètre carré a atteint 1.250 becs Carcel. Ce chiffre, comparé à celui de l'appareil d'Eckmühl, permet d'espérer encore de nouveaux progrès.

Nous terminerons, en conséquence, la présente étude, dans laquelle nous avons cherché à faire ressortir le rôle des différents éléments du profil des appareils, les meilleurs moyens de les contrôler, et leur rendement relatif, en concluant que les chiffres admis jusqu'ici pour la puissance des appareils de phare sont appelés à être très notablement dépassés, moyennant une fabrication et une vérification plus rigoureuses.

Paris, le 8 septembre 1897.

TABLE DES MATIÈRES.

N° 44

PORT DE SFAX

NOTE

Par M. BEZAULT, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Préliminaires.

Avant l'établissement du Protectorat Français, les ports de la Régence de Tunis avaient été laissés dans un abandon complet par l'Administration Beylicale.

Ils n'étaient que des rades plus ou moins ouvertes, selon la disposition naturelle des lieux.

Dès 1889, l'Administration des Travaux publics, prévoyant l'accroissement rapide du mouvement commercial de la Régence, avait fait des études en vue d'établir de grands ports dans les principales villes du littoral.

L'importance des capitaux à mettre en jeu pour la construction de ces ports et la prudence qui est observée dans la gestion des finances de la Tunisie ne permettaient pas de recourir à la construction directe par l'État.

Le régime de la concession a dès lors été adopté.

Avant de décrire les travaux proprement dits du port de Sfax, il ne sera pas sans intérêt de donner un exposé sommaire du régime de la concession unique qui s'applique à la fois aux trois ports de Tunis, Sousse et Sfax.

La caractéristique de la convention de concession est:

au point de vue de la construction, la mise à la charge du concessionnaire, de tous les frais et aléas, moyennant une garantie d'intérêt forfaitaire de l'État Tunisien, et, au point de vue de l'exploitation, l'établissement d'une régie par moitié entre l'État et la Compagnie concessionnaire.

La convention prévoit, d'abord, la construction ou l'achèvement des trois ports pour une somme qui n'est pas explicitement indiquée, mais que l'on peut évaluer à 9 millions en chiffres ronds; elle prévoit éventuellement 3 millions de travaux complémentaires; elle fixe à 3 millions le capital-actions qui doit être entièrement versé et prescrit le dépôt dans les caisses de l'État du tiers de ce capital; elle contient une série de clauses pour la protection des intérêts des obligataires appelés à fournir le complément du capital de premier établissement; elle fixe le montant de la garantie d'intérêt du Gouvernement Tunisien, laquelle pourra s'élever à 425.000 francs au maximum, dont 295.000 francs réservés aux obligataires.

La convention précise ensuite le régime des terrains domaniaux qui pourraient être remis au concessionnaire, ou dont la conquête sur la mer pourra être autorisée, le caractère de ce régime étant le partage par moitié entre l'État et le concessionnaire tant du produit des locations que du bénéfice des ventes des dits terrains.

Enfin un dernier article prévoit le remboursement à l'État des insuffisances qu'il aurait pu être appelé à supporter, stipule le partage par moitié des excédents de recettes et limite à un maximum la part de la Compagnie dans les bénéfices nets annuels.

Un cahier des charges, soigneusement élaboré, complète les conditions qui précèdent, et fixe, pour chaque port, le nombre et la nature des ouvrages à établir, ainsi que le maximum des taxes qui peuvent être perçues.

Il règle les attributions respectives de l'État et du con-

cessionnaire dans l'exploitation des ports; il contient des stipulations relatives à la comptabilité des recettes et des dépenses, au contrôle de l'Administration, au rachat de la concession, à la déchéance du concessionnaire et au règlement des difficultés qui pourraient s'élever entre l'État et le concessionnaire.

La durée de la concession est fixée à quarante-sept années, à dater du 12 avril 1894.

La combinaison que nous venons de résumer nous paraît, dans les conditions où l'on se trouve, avantageuse pour l'État; elle lui permet immédiatement, sans bourse délier, de créer les deux grands ports de Sousse et de Sfax et d'achever le port de Tunis. Elle ne grèvera pas le présent, car la garantie d'intérêt fonctionnera très peu et, dans quelques années, lorsque les ports seront en pleine exploitation, l'État partagera, au contraire, les bénéfices avec la Compagnie concessionnaire.

Description générale.

Plan d'ensemble (Pl., p. 178 *bis*). — Le port se compose d'un bassin d'opérations d'environ 10 hectares, auquel on accède par un canal de 22 mètres de largeur et de 3 kilomètres de longueur.

Le bassin d'opérations et le chenal d'accès sont creusés à $6^m,50$ au-dessous du niveau des plus basses mers.

Deux murs de quai perpendiculaires entre eux sont construits sur les côtés Nord-Est et Nord-Ouest du bassin; ils ont un développement total de près de 600 mètres et sont arasés à $2^m,50$ au-dessus des plus basses mers.

Un petit chenal creusé à $2^m,50$ de profondeur, qui conduisait à l'ancien bassin d'opérations aujourd'hui comblé, est utilisé pour l'accès des petits voiliers fort nombreux à Sfax. En outre, un canal de 45 mètres de

largeur creusé à 2 mètres et bordé de perrés règne au sud des terre-pleins sur environ 700 mètres de longueur : il est affecté à la petite batellerie.

Les terre-pleins créés avec les produits des dragages occupent une superficie d'environ 20 hectares. Un quai de 60 mètres de longueur est réservé pour les torpilleurs en prolongement du quai Nord-Ouest. La partie de bassin correspondante à ce quai a une surface de 1 hectare environ et une profondeur de 3 mètres égale à celle du quai réservé.

Le chenal est balisé par des bouées ordinaires ; il est éclairé à son extrémité en mer par deux bouées lumineuses et à son origine dans le bassin par deux feux de port et un feu de direction.

Profils en travers des quais (Pl., p. 178 *bis*). — Les murs de quai sont constitués par des blocs parallélipipédiques en béton de chaux hydraulique ou de ciment. Ces blocs, exécutés sur le rivage, ont été posés et arrimés au moyen de mâtures flottantes.

Il y a quatre catégories de blocs dont les dimensions sont les suivantes :

CATÉGORIE		LONGUEUR (Sens perpendiculaire à la direction du quai)	LARGEUR parallèlement à la direction du quai	HAUTEUR	POIDS APPROXIMATIF
					kilogr.
Béton de ciment,	1re....	3m,80	1m,80	1m,75	27.000
Béton de chaux hydraulique	2e....	3 ,00	1 ,80	1 ,75	21.000
	3e....	2 ,50	1 ,80	1 ,75	17.000
	4e....	2 ,00	1 ,80	1 ,75	14.000

Le mur de quai Nord-Ouest est constitué par quatre assises superposées formées de deux blocs de deuxième

catégorie et un bloc de chacune des troisième et quatrième catégories. Le quai Nord-Est devait primitivement avoir le même profil que le quai Nord-Ouest : mais, en prévision d'un approfondissement ultérieur du port que rend probable le développement à peu près certain du trafic des phosphates, ce quai a été fondé à (— 8,80), ce qui permet dès maintenant d'y charger des navires calant 7 mètres.

Le mur est alors constitué par cinq assises superposées formées de un bloc de la première catégorie, deux blocs de la deuxième et un bloc de chacune des troisième et quatrième catégories. Les blocs inférieurs reposent sur une fondation en enrochements déposés au fond d'une fouille préparée à l'avance à la drague ; l'épaisseur de cette fondation est de 1m,25 pour le quai Nord-Ouest et de 1 mètre pour le quai Nord-Est. Enfin, au-dessus des blocs, le mur est constitué par de la maçonnerie faite sur place ; il est terminé par un couronnement en pierres de taille de 0m,60 de largeur et 0m,40 d'épaisseur.

Dans le bassin des torpilleurs, le quai a été exécuté en partie avec des blocs construits il y a quelques années et restés sans emploi.

Aménagement et outillage du port. — L'aménagement des terre-pleins comporte :

1° Deux magasins avec bureaux annexés d'une superficie totale de 2.000 mètres carrés ;

2° Environ 2.000 mètres de voie ferrée de 1 mètre, et 5.000 mètres carrés de voies empierrées où pavées.

Ces installations sont faites exclusivement sur la zone publique du terre-plein Nord-Ouest affectée au commerce et mesurant une largeur de 75 mètres ; le terre-plein Nord-Est, d'une largeur de 120 mètres, qui pourra être portée à 250 mètres, est réservé à la Compagnie conces-

sionnaire des phosphates de Gafsa, qui doit l'aménager selon ses besoins.

L'outillage se compose :

1° D'une mâture flottante à vapeur de 20 tonnes ;

2° D'une grue roulante à bras d'une puissance de 20 tonnes ;

3° D'une grue fixe de 6 tonnes ;

4° De trois grues mobiles à moteur mécanique de 1.500 kilogrammes chacune ;

5° Des bouées, amarrages, engins et apparaux nécessaires à une bonne exploitation.

Enfin il existe en bordure du chenal Sud, près du marché couvert, une petite cale de halage, facilitant la mise à sec pour réparations des nombreuses barques de pêche qui fréquentent le port de Sfax.

Exécution des travaux.

I. — Dragages.

Matériel des dragages. — La plus grande partie des dragages a été exécutée au moyen de deux puissantes dragues à godets, identiques, *Kairouan* et *Sousse*, sur lesquelles nous croyons intéressant de donner quelques détails.

Chacune de ces dragues est capable de draguer à des profondeurs variant de 0 à 9 mètres et de creuser son propre chemin. Le tirant d'eau de la drague, en condition de travail, est de $1^m,20$. La drague est disposée de façon à pouvoir décharger les produits du dragage soit dans les chalands accostés à la coque, soit directement sur la rive, au moyen d'une pompe centrifuge capable de refouler les déblais par une conduite de 350 mètres de longueur avec 2 mètres d'élévation au-dessus du niveau de l'eau. Dans

les deux cas elle peut, en terrain ordinaire, extraire 100 mètres cubes à l'heure.

A bord, sont installées deux machines motrices séparées, l'une actionnant la chaine dragueuse, l'autre la pompe centrifuge.

La première machine, d'une force de 50 chevaux, est du type horizontal, système Compound, avec condensation par surface ; elle marche à raison de 100 tours par minute.

La machine actionnant la pompe centrifuge est du type vertical, système Compound, avec condensation par surface. Elle développe une force de 100 chevaux indiqués et marche à raison de 225 tours par minute.

La vapeur nécessaire est fournie par une chaudière à flamme directe, appelée aussi « basse-tubulaire », ayant 75 mètres carrés de surface de chauffe; elle est timbrée à 6 kilogrammes. L'expression « basse-tubulaire » est la traduction d'un terme hollandais et ne s'emploie guère en français.

Ce type de chaudière, peu usité en France, se rapproche beaucoup du type locomotive au point de vue du parcours de flamme.

Sont, en outre, installés à bord : des treuils à vapeur pour la manœuvre de l'élinde, l'avancement et le papillonnage de tribord et de bâbord, pour le recul et le papillonnage arrière ;

Des treuils à main pour la manœuvre des bouts de couloir;

Une dynamo suffisante pour alimenter deux lampes à arcs de 700 bougies chacune installées sur le pont et les lampes à incandescence servant à l'éclairage des cabines, du logis, de la chambre de machine et de celle de chauffe;

Une grue de 600 kilogrammes.

L'élinde porte des godets en tôle avec becs en acier d'une capacité de 170 litres; elle fait 8 tours par minute; une pompe spéciale amène un jet d'eau dans l'entonnoir

du beffroi pour faciliter l'écoulement des produits dragués qui sont refoulés par la pompe centrifuge.

Cette pompe centrifuge a un diamètre de 1m,20, elle est actionnée directement par la machine verticale de 100 chevaux ; un jet d'eau sous pression de 2 atmosphères est envoyé par une pompe spéciale dans les boîtes à étoupes de la pompe centrifuge pour empêcher l'entrée du sable dans ces pièces et les protéger contre une usure trop rapide.

Les tuyaux d'aspiration et de refoulement de la pompe à l'intérieur du bateau sont en tôle de 5 millimètres et ont un diamètre intérieur de 0m,38 ; les déblais sont portés au dépôt par une conduite pouvant atteindre 350 mètres de longueur, composée d'une série de tuyaux en tôle d'acier de 3 millimètres d'épaisseur et de 6m,67 de longueur, reliés entre eux par des sacs en cuir de 0m,70 de longueur, fixés par des cercles de serrage ; ces tuyaux ont un diamètre intérieur de 0m,38.

Les flotteurs qui soutiennent cette conduite sont constitués par des cylindres creux en tôle ayant un diamètre intérieur de 0m, 68 et une épaisseur de 0m, 003 ; ces cylindres sont accouplés deux à deux au moyen de cornières en fer. Chaque groupe de deux flotteurs est relié au groupe voisin au moyen de chaînes avec tendeurs de 1 mètre de longueur environ accrochées aux oreilles latérales que portent les flotteurs. L'assemblage peut être également fait par des plaques en tôle pincées entre les cornières formant entretoises d'accouplement ; ces plaques sont percées d'un trou ovale, où peut s'engager un goujon ou une main d'ancre. A Sfax, on n'a jamais eu recours à ce dernier mode d'attache ; souvent même la jonction n'a été faite que par les sacs en cuir reliant les tronçons de la conduite de refoulement. Chacune de ces dragues a été livrée à Sfax, au prix de 230.000 francs, par la Société anonyme Werf-Conrad de Haarlem (Hollande).

Le matériel des dragages était complété par deux engins moins puissants : une drague à godets qui avait autrefois servi aux dragages des ports de Sfax et de Mahedia, et une drague à cuiller à une seule chaine système « Wild » sortie des ateliers de Stothert et Pitt de Bath (Angleterre).

La première a une machine de 14 chevaux et peut draguer 25 mètres cubes à l'heure ; la contenance des godets est de 75 litres. La drague à cuiller peut extraire de 15 à 20 mètres cubes à l'heure. C'est une grue ordinaire à vapeur installée sur un ponton et actionnant un seau dragueur dont le fonctionnement automatique est analogue à celui de tous les engins du même genre.

Exécution des dragages. — Les travaux ne commencèrent sérieusement qu'en juin 1895. On construisit à cette époque une digue en terre partant de l'angle Nord-Est de l'ancien quai, perpendiculaire à celui-ci et destinée à contenir les produits de dragages qui devaient constituer le terre-plein Nord-Est et plus particulièrement le chantier de fabrication des blocs. Fin septembre 1895, la drague *Kairouan* avait refoulé sur cet emplacement 100.000 mètres cubes de déblais provenant du bassin d'opération et des fouilles du quai Nord-Est. Elle fut employée au grand chenal qu'elle creusa en deux passes ; la première descendant à (— 3,50) fut terminée fin février 1896, la deuxième à (— 6,50) fut terminée fin octobre de la même année, sauf sur une centaine de mètres au débouché dans le bassin. Cette partie, destinée à barrer le chenal jusqu'à la fin des travaux, n'a été draguée qu'en avril 1897.

Le projet prévoyait que les produits des dragages seraient déposés en cavaliers de chaque côté du canal, sur une longueur de 1 kilomètre environ à partir du bassin d'opérations, soit jusqu'aux fonds de (— 1,50). Mais le passage des bateaux dans un canal étroit occasionne un

remous très préjudiciable à la bonne tenue de ces cavaliers, qui nécessitent alors un entretien assez onéreux, comme, par exemple, au canal de Tunis. En exécution, on a donc renoncé aux cavaliers; les déblais ont été simplement refoulés en mer parallèlement au chenal du côté Sud-Ouest et à une distance de 150 à 250 mètres. Étant donnés le peu d'épaisseur des dépôts, d'ailleurs couverts en grande partie par les eaux et leur distance au chenal, il est à espérer qu'ils ne viendront pas envaser ce dernier, d'autant plus qu'ils seront maintenus par les herbes qui, dans ces parages, poussent rapidement au fond de la mer.

Nous donnons (Pl., p. 178 *bis*) quelques profils de ces dépôts.

Dès le début de 1896 fut mise en service la deuxième grande drague, la drague *Sousse*. On reprit avec elle les fouilles du bassin et des quais en commençant par le quai Nord-Est de 225 mètres. La petite drague à godets *Sfax* a travaillé aux chenaux latéraux, et la drague à cuiller a exécuté les cavaliers destinés à retenir les produits des dragages et éviter l'ensablement des fouilles et de l'ancien port, dont l'accès n'a été fermé qu'en novembre 1896, après livraison au commerce d'une partie des nouveaux quais.

Les dragages n'ont pu, malgré le puissant outillage dont on disposait, être menés aussi rapidement qu'on l'espérait. Les grandes dragues à godets, et surtout les conduites de refoulement, fatiguaient beaucoup dès que la houle se faisait un peu sentir; aussi la drague qui creusait le canal était souvent contrariée par l'état de la mer, elle ne travaillait guère que trois cents heures par mois, bien que tout fût installé pour une marche continue de jour et de nuit.

La nature du terrain à draguer a constitué la principale difficulté. On a trouvé d'abord du sable vaseux dans lequel les dragues ont donné de bons résultats; à la cote

(— 5^{m},00) environ, on a rencontré, à peu près partout, une couche de conglomérats atteignant, en certains points, 0^{m},70 d'épaisseur, et, au dessous, une couche d'argile jaune très compacte de plusieurs mètres d'épaisseur. Les godets ont dû être modifiés pour permettre l'attaque du banc de roches, coraux et coquillages agglutinés et faciliter le décollement de l'argile. Plusieurs essais ont été faits; les meilleurs résultats ont été obtenus par la suppression de la tôle constituant le devant du godet et son remplacement par deux griffes verticales reliant le couteau au fond. L'attaque de ces bancs durs ne pouvait pas se faire sur plus de 0^{m},30 de hauteur; indépendamment d'une usure exceptionnelle des conduites de refoulement, celles-ci étaient souvent engorgées; enfin, par suite de la dureté du sol rencontré, des avaries sérieuses se produisaient de temps en temps aux dragues; ainsi l'arbre du tourteau supérieur, les turbines des pompes à déblai se sont cassés plusieurs fois. Dans ces conditions, le rendement a été très faible, le cube extrait par chaque godet ne dépassait pas 0^{m3},100; le cube dragué normalement à l'heure était de 30 à 40 mètres cubes, suivant la distance du refoulement; et, en faisant travailler jour et nuit les deux grandes dragues *Sousse* et *Kairouan*, on ne produisait que 50.000 mètres cubes environ par mois.

II. — Blocs artificiels.

Blocs en béton de chaux hydraulique. — Confection.

La plus grande partie des blocs est en béton formé de 2 volumes de pierres cassées à l'anneau de 0,06 pour un volume de mortier dosé à raison de 350 kilogrammes de chaux hydraulique du Teil (Société Lafarge) par mètre cube de sable.

Le béton était pilonné par petites couches dans des caisses-moules en bois sans fond. Dans l'axe vertical du moule était placé un bout de madrier pénétrant à sa base dans une petite caisse parallélipipédique en bois. Ce madrier était retiré après la prise et laissait un vide destiné à l'introduction de la louve en forme de T employée au levage des blocs. La caisse inférieure ménageait l'espace nécessaire pour donner quartier à la louve et permettre à la petite branche horizontale du T de saisir le bloc par dessous. Le démoulage ne pouvait se faire qu'après un délai de deux jours, et les blocs n'étaient employés qu'après trois mois de fabrication. A Sousse, où la mer est très violente, l'expérience a montré qu'il n'était pas prudent de descendre au-dessous de quatre mois pour le séchage des blocs, sauf pendant les trois ou quatre mois de grosses chaleurs où l'on peut abaisser cette durée à trois mois et demi; il convient d'ailleurs d'ajouter que, dans ces deux ports, le sable est calcaire, à grains fins, et, par suite, de qualité médiocre.

Les délais pourraient probablement être un peu réduits avec des matériaux de très bonne qualité.

La proportion de pierres et mortier indiquée ci-dessus pour la confection du béton est celle qui est le plus souvent employée en Tunisie. Des blocs ainsi établis depuis huit ou dix ans se sont bien comportés.

A signaler que, généralement, les parements de ces blocs se recouvrent en quelques mois d'herbes assez touffues et que les coquillages, au contraire, y sont peu nombreux.

Levage et transport à quai. — Au début, 200 blocs environ ont été fabriqués près de l'ancienne douane; le reste, soit environ 1.100, a été confectionné au Sud-Est de l'Hôpital militaire, dans un emplacement conquis sur la mer au moyen du produit des dragages. Les blocs étaient

levés par une grue de 20 tonnes dont la volée avait une portée de 7 mètres. La grue circulait sur une voie de 2^m,30, elle était manœuvrée et déplacée à la main. Cette voie de 2^m,30 était placée en prolongement, puis à l'emplacement d'une file de blocs. Au fur et à mesure de son avancement, la grue enlevait les blocs placés devant elle et ceux des deux files de droite et des deux files de gauche; elle les déposait sur des trucs remorqués par une locomotive qui circulait sur une voie de 1 mètre, établie parallèlement à la file extrême et qui amenait les blocs à quai. Les voies n'étaient donc déplacées qu'après emploi complet des cinq files de blocs, soit à peu près 400 blocs. (La grue de 20 tonnes dont il est parlé ci-dessus sort des ateliers Merlot de Paris, elle est pourvue d'un frein système Mégy.)

Blocs en béton de ciment. — Pendant l'exécution des travaux, au mois de mars 1896, il fut décidé qu'on porterait le tirant d'eau du quai Nord-Est, spécialement affecté à la Compagnie des phosphates de Gafsa, à la cote (— 7,80), en prévision d'un approfondissement ultérieur du chenal et du bassin pour l'accostage des bateaux de fort tonnage. On modifia alors le profil du quai par l'addition à la base de gros blocs de 27 tonnes également en béton. Afin de ne pas retarder les travaux, le ciment fut substitué à la chaux hydraulique, ce qui permit l'emploi des blocs trois semaines après leur fabrication. Le ciment employé était du Portland de la Société Lafarge du Teil. Le mortier était dosé à raison de 450 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable; les blocs furent construits au bord même de l'ancien quai pour n'avoir pas besoin de recourir à une grue de levage analogue à celle dont nous venons de parler, mais plus puissante.

Mise en place des blocs. — Pontons-mâtures. — A quai, les

blocs étaient soulevés à l'aide de pontons-mâtures et déposés au nombre de trois à quatre sur un chaland qui les portait à l'emplacement des nouveaux quais, où ils étaient repris et mis en place par les pontons-mâtures.

Ceux-ci étaient au nombre de deux, l'un en bois, l'autre en fer. Le premier, d'une force de 20 tonnes, a servi autrefois au port de Sousse, la coque, la bigue avec ses contrefiches sont en bois, le treuil de levage est actionné par la vapeur; le déplacement se fait au moyen d'amarres et de treuil à main, la portée de la bigue est de 4 mètres. Le second, construit par les ateliers Villebrœch, à Bruxelles, a également une force de 20 tonnes; la coque et la bigue sont en tôle; celle-ci a une portée de 7 mètres et est haubannée par deux tirants articulés en fer, qui relient sa partie supérieure à l'arrière de la coque. Les pieds sont arrondis et reposent dans des sabots en fonte de deuxième fusion; deux tendeurs de retenue relient la bigue à l'avant du pont et l'empêchent de se renverser en arrière en cas de fausse manœuvre. La charge est levée par un treuil à vapeur à la vitesse de $2^m,50$ à la minute; la descente a lieu à la vitesse de $3^m,50$. Les treuils nécessaires au déplacement sont mus à la main. C'est cette mâture flottante dont on s'est servi pour le levage des blocs de 27 tonnes en béton de ciment; il a suffi de réduire à $3^m,90$ la portée de la bigue; de plus, on a adjoint aux tendeurs de retenue deux fortes contrefiches en sapin fixées à la partie supérieure des bras de la bigue et ayant leur point d'appui inférieur au milieu du pont.

III. — Quais et Magasins.

Murs de quai (Pl., p. 178 *bis*). — Les fouilles étaient préparées à la drague; à l'aplomb des fouilles se déplaçait progressivement un radeau présentant au centre une

grande ouverture rectangulaire par laquelle on déversait les enrochements de fondation qui avaient été déposés sur le pourtour (ces enrochements sont des moellons calcaires ordinaires provenant des îles Kerkennah); la surface du matelas était réglée par un scaphandrier.

Les blocs étaient arrimés à l'aide des pontons-mâtures dont nous venons de parler. De longues tringles, montées sur une équerre formant pied, étaient placées aux angles diagonalement opposés des blocs à immerger.

On imprimait au ponton les déplacements nécessaires pour amener très approximativement ces tringles dans l'alignement des balises fixes qui indiquaient les plans de parement des différentes assises des murs de quai. On descendait ensuite le bloc, qui n'était définitivement mis en place que sur les indications d'un scaphandrier ; celui-ci dégageait ensuite la louve ayant servi au soulèvement du bloc. En raison de la difficulté de donner une inclinaison régulière à la fondation, le fruit des murs de quai fixé à 1/20e a été obtenu par retraites successives des diverses assises. Le remplissage entre les blocs de la dernière assise, le remblai en pierraille, l'exécution de la maçonnerie au-dessus des blocs, le couronnement, la création des terres-pleins suivaient régulièrement la pose des blocs.

Magasins. — Les deux hangars-magasins, de 46^m,80 sur 21 mètres chacun, ont été construits sur le terre-plein Nord-Ouest. Chaque bâtiment comporte dix fermes espacées de 5^m,20 d'axe en axe ; ils sont entièrement clôturés avec une murette et des cloisons de 0^m,105 d'épaisseur en briques factices de ciment ; une des neuf travées est aménagée pour y installer les bureaux du port et les services de l'exploitation.

Les magasins furent rapidement édifiés ; les fermes étaient montées sur place à terre, puis levées d'une seule

pièce à l'aide de deux chèvres ordinaires de charpentier et réunies ensuite les unes aux autres aux moyens des pannes et sablières ; quinze jours ont suffi à la construction de l'ossature métallique de chaque bâtiment.

Les poteaux verticaux n'ont pas été scellés de suite sur les blocs en béton de ciment leur servant de base d'appui, en prévision des tassements qui pourraient se produire avec des fondations faites sur des remblais récemment exécutés. Ces tassements ont d'ailleurs été insignifiants.

Les briques factices en ciment employées pour les murs et cloisons ont été fabriquées sur place, à Sfax.

Elles ont comme dimensions 0,06/0,11/0,22. Le mortier, dosé à 400 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable, était gâché presque sec. Le moule était rempli sur $0^m,07$ environ de hauteur ; on comprimait à 2 kilogrammes par centimètre carré, ce qui réduisait l'épaisseur à $0^m,06$ environ ; vingt-quatre heures après leur fabrication, les briques étaient plongées dans un baquet plein d'eau en les laissant sur la planche où elles avaient été déposées au moment du démoulage ; on ne les employait qu'après un mois de séchage.

On fabriquait à l'heure 110 briques avec une équipe de trois hommes.

Ces briques, qui sont revenues à 38 francs le 1.000, présentent, outre l'avantage du bon marché, celui de ne pas être attaquées par l'air salin et de pouvoir être employées sans enduit.

Prix de revient des travaux.

En résumant la convention de concession, nous avons dit que la Compagnie des Ports assume tous les frais et aléas de la construction, moyennant une garantie d'intérêt

forfaitaire. L'État n'a donc eu à intervenir dans cette construction qu'au point de vue technique, et nullement au point de vue financier.

Toutefois, grâce à l'extrême obligeance de M. Wiriot, administrateur délégué de la Compagnie des ports, nous pouvons donner le prix de revient des ouvrages du port de Sfax.

Dragages. — Il a été enlevé 1.220.000 mètres cubes de déblais pour une somme de 708.000 francs, ce qui fait ressortir le mètre cube dragué à 0 fr. 58, non compris l'intérêt du capital correspondant au matériel de dragages, estimé environ 500.000 francs, et la moins-value de ce matériel en fin de travaux.

Murs de quai. — Le mètre linéaire du mur de quai Nord-Ouest est revenu à 650 francs se décomposant ainsi :

Moellons d'enrochements, 7^{m3},50 à 5 fr. 40...	40 fr.	50
Blocs en béton approvisionnés 18 mètres cubes à 20 francs..............................	360	00
Mise en place des blocs, 18 mètres cubes à 4 fr. 50..............................	81	00
Maçonnerie au-dessus des blocs, 1^{m3},55 à 30 francs..............................	46	50
Couronnement en pierre de taille, le mètre linéaire..............................	36	00
Remblai en pierraille, 20 mètres cubes à 4 fr. 30..............................	86	00
Total...............	650 fr.	00

Le quai Nord-Est, fondé à (— 7,80), revient à 1.000 francs le mètre linéaire.

Il y a une plus-value de 85 francs pour approfondissement des fouilles, augmentation du cube d'enrochements et pierraille, et de 265 francs pour l'assise des blocs en béton de ciment, savoir 6^{m3},60 à 40 francs (fabrication et pose).

Enfin le quai des torpilleurs, où l'on a employé d'anciens blocs construits par les Travaux publics, a entraîné une dépense de 280 francs par mètre linéaire.

Hangars. — Magasins. — Dans chacun d'eux, 880 mètres carrés servent de magasins, et 110 mètres carrés sont affectés au service de l'exploitation ; le prix de revient est de 38.000 francs, ce qui fait ressortir à environ 36 francs le mètre carré de magasin et à 60 francs le mètre carré des bâtiments pour services.

Le tableau ci-après résume la dépense totale engagée par la Compagnie des Ports, sans tenir compte de l'intérêt et amortissement des capitaux engagés dans cette affaire.

La moins-value du matériel, comptée seulement pour 20 0/0, serait beaucoup plus forte, si la Compagnie n'avait eu que le port de Sfax à construire. Dans ce cas, il eût fallu compter environ 50 0/0 de moins-value.

TABLEAU RÉSUMANT LA DÉPENSE TOTALE DU PORT.

INDICATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX	DÉPENSES	OBSERVATIONS
			francs	
1° Dragages	1.220.000^{m3}	0f,58	708.000	
2° Quai N.-E.	225^{m}	1.000,00	225.000	
3° Quai N.-O.	370^{m}	650,00	240.500	
4° Quai des torpilleurs	60	280,00	16.800	
5° Hangars-magasins	2 de 1000^{m2} chacun	38.000,00	76.000	
6° Chaussées pavées	1.000^{m2}	9,50	9.500	
7° Chaussées empierrées	4.000^{m2}	3,00	12.000	
8° Voies ferrées	2.000^{ml}	17,00	34.000	
9° Mâture flottante de 20 tonnes	1	60.000,00	60.000	
10° Grues mobiles à vapeur de 1.500 kilogrammes	3	10.000,00	30.000	
11° Bouées et apparaux	»	»	34.000	
12° Divers (éclairage, assainissement, etc.)	»	»	10.000	
				1.455.800
13° Moins-value du matériel de dragages	(20 °/₀ sur 500.000 francs.)		100.000	
13° bis Moins-value de tout l'autre matériel	(20 °/₀ sur 200.000 francs.)		40.000	
14° Personnel pour études et travaux. Frais généraux	10 °/₀ sur 1.455.800 francs (montant des travaux de 1 à 12 inclus).		145.580	285.580
TOTAL				1.741.380

Durée d'exécution.

Un délai de deux ans, à partir de l'approbation des projets définitifs, était fixé pour l'exécution des travaux. Il courait du 1er janvier 1895.

Mais, par suite de la perte d'une grande drague, d'une modification apportée dans les projets primitifs, les travaux ne commencèrent réellement qu'en juin 1895, sous l'habile direction de M. Wiriot, administrateur de la Compagnie des Ports. Grâce à l'activité déployée, moins de deux ans après, le 24 avril 1897, le port pouvait être solennellement inauguré par M. BOUCHER, Ministre du Commerce, en présence de MM. COCHERY, Ministre des Finances, DARLAN, Ministre de la Justice, et de M. RÉVOIL, Résident Général adjoint.

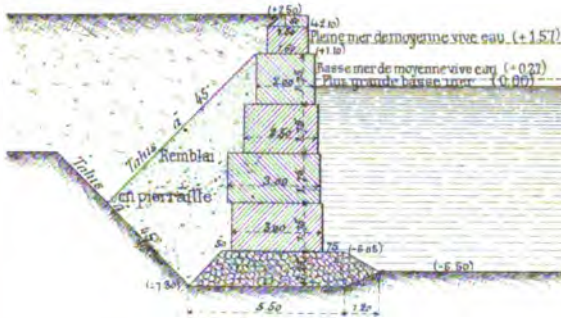
Les projets qui ont servi de base au contrat de concession ont été préparés par M. DE FAGES, Ingénieur des Ponts et Chaussées, sous la haute direction de M. PAVILLIER, Directeur général des Travaux publics, à qui revient également l'honneur d'avoir préparé et signé le contrat de concession.

Le contrôle technique des travaux a été successivement exercé par M. PEYRIEUX, Conducteur principal faisant fonctions d'Ingénieur, MM. BEZAULT et DUBOIS, Ingénieurs des Ponts et Chaussées, avec le concours de M. ROY, Conducteur des Ponts et Chaussées.

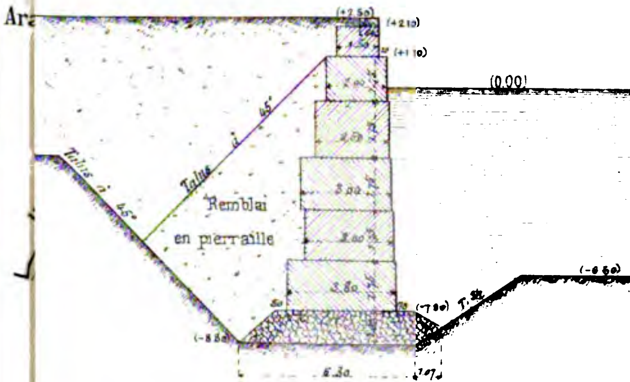
Juin 1897.

Coupes transversales des Quais

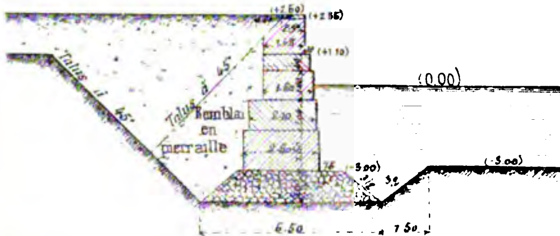
Quai N.O.



Quai N.E



Quai du bassin des torpilleurs



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

N° 45

NOTICE

SUR

LA CONSTRUCTION D'UN PONT-ROUTE

SUR LE DOUBS A VERDUN

Par M. LABBAYE, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

La petite ville de Verdun (Saône-et-Loire), construite au confluent de la Saône et du Doubs, n'était jusqu'ici reliée aux communes de la rive droite de cette dernière rivière que par un bac. On vient de remédier à cette situation fâcheuse en construisant, à l'emplacement même du bac, un pont en maçonnerie.

A cet endroit la profondeur du Doubs est de $4^m,50$ à 5 mètres au-dessous de la retenue normale; sa largeur est d'environ 100 mètres.

Au printemps et à l'automne, des crues de 5 à 6 mètres se produisent presque chaque année.

Le débouché nécessaire au pont, au-dessous des plus hautes eaux connues (1840) est de 1.000 mètres carrés environ.

Principales dimensions du pont construit :

Longueur totale			146m, »
Largeur	extérieure, entre les têtes de voûte		6 , »
	de la chaussée		4 ,50
	des trottoirs		0 ,75
Voûtes	centrale	Ouverture	41 , »
		flèche	9 ,17
		Épaisseur à la clef	1 ,20
	de rives	Ouverture	38 ,50
		Flèche	8 ,52
		Épaisseur à la clef	1 ,20
Piles. — Épaisseur aux naissances des voûtes			4 , »
Culées. — Épaisseur au niveau des fondations			10 , »

	Au-dessus des fondations	Fondations comprises
Cube total des maçonneries	3.136m,26	4.002m,14
Cube des maçonneries par mètre carré d'élévation de l'ouvrage	1 ,75	1 ,97
Rapport du vide au plein des maçonneries	1 ,61	1 ,89

Les courbes d'intrados des grandes voûtes sont des demi-ellipses ayant leur naissance au niveau de la retenue.

Les courbes d'extrados sont des arcs de cercle, de 46 mètres de rayon pour l'arche centrale et de 44 mètres pour les voûtes de rives.

Le sol de fondation est une succession de couches de sables, de graviers et de marnes plastiques très compactes.

Les piles ont été fondées au moyen de caissons foncés à l'air comprimé, en s'inspirant des procédés employés au pont de Charrey (*).

Les culées sont établies sur pieux en sapin ayant la tête noyée dans un massif de béton.

En raison du peu de résistance du sol de fondations, de

(*) *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1893.

nombreux élégissements ont été faits sur les reins des voûtes, sur les piles et sur les culées.

Le profil en long de la chaussée sur le pont comporte des déclivités de :

0m,03 sur les culées et les demi-arches de rives qui les joignent ;

0m,015 entre les axes des demi-voûtes de rives.

Stabilité de l'ouvrage :

Culées	Pression par centimètre carré sur le sol de fondation..........................	2k,9
	Poids sur un pieu, en supposant toute la charge supportée seulement par les pieux.	30.000 ,»
	Coefficient de stabilité au renversement...	2 ,5
Piles	Pression par centimètre carré sur le sol...	3 ,6
	Pression par centimètre carré aux naissances des voûtes........................	7 ,8
	Coefficient de stabilité au renversement...	0 ,9

			Voûte centrale	Voûtes de rives
Voûtes	Pressions moyennes, y compris surcharge de 600 kgs par mètre carré de chaussée et de trottoirs	à la clef.....	13k,5	13k,3
		aux joints de rupture....	9 ,3	8 ,8

(En admettant que la courbe de pression passe au tiers des joints de clef et de rupture.)

Aspect du pont (Pl. 31 et 32). — Les parements des avant-becs des piles et des massifs des culées sont construits en moellons gris bleuâtre, grossièrement taillés à bossages sans ciselure au pourtour.

Les bandeaux de voûtes et les douelles sont en moellons smillés de teinte peu différente de celle des matériaux employés aux piles et culées. Une ciselure de 0m,04 de largeur dessine nettement les arêtes d'intrados et d'extrados des voûtes.

Les couronnements des massifs des culées et des avant-becs des piles sont en pierre de taille soigneusement bouchardée.

La taille rustique des moellons des piles et des culées, la teinte un peu sombre des matériaux donnent à l'ensemble des grandes voûtes un aspect robuste et sévère et soulignent pour ainsi dire la partie essentielle de l'ouvrage.

Les petites voûtes d'élégissement ont été projetées en cherchant, au contraire, à obtenir un ouvrage d'un aspect svelte et coloré; on les a faites en briques rouge brun, parce que la couleur de ces matériaux tranchait nettement avec celle des autres maçonneries; on a souligné les naissances des voûtes par une petite imposte; on a accusé le contour des têtes par un rang de briques en saillie formant archivolte et détachant vigoureusement les petites voûtes des tympans construits en moellons presque blancs.

Ces dispositions de détail obtenues très économiquement ont donné en exécution le résultat cherché: les légères petites voûtes en briques courent, pour ainsi dire, sur les grandes, sans paraître les surcharger; elles font, en outre, valoir les formes simples de la partie principale de l'ouvrage qui leur sert de soubassement.

L'ensemble est couronné par une plinthe très en saillie, peu épaisse par raison d'économie, soutenue par de petits modillons, qui semblent faire corps avec elle et qui dissimulent sa maigreur. On a obtenu de cette façon une corniche simple, peu coûteuse et d'un effet des plus satisfaisants.

Cette plinthe porte un parapet en briques de deux couleurs formant un dessin classique. Les dimensions des panneaux correspondent à celles des voûtes d'élégissement; des motifs en pierre de taille placés aux extrémités du pont et aux sommets des grandes voûtes rompent la monotonie du dessin uniforme des panneaux en briques. En outre, ces motifs, placés au point où les déclivités de la chaussée sont brisées, masquent les

changements de pentes ou de rampes qui pourraient paraître disgracieux à l'œil qui les voit en perspective.

Ce parapet, dont les panneaux n'ont que 0m,11 d'épaisseur, a pu, en raison de sa légèreté, être placé presque complètement en encorbellement sur le plan des têtes des voûtes, comme on l'aurait fait pour un parapet métallique. Malgré son peu d'épaisseur, il se comporte parfaitement au point de vue de la résistance. La stabilité est, du reste, accrue par un artifice de construction : on a noyé dans le mortier de quelques joints horizontaux des fers feuillards très minces pour relier les panneaux aux petits pilastres qui les encadrent.

On aurait pu être tenté, par raison d'économie, de projeter un garde-corps métallique au lieu de ce parapet. On ne l'a pas fait, parce qu'un garde-corps en fer, de type courant, qui, sur un dessin, en raison de la multiplicité des lignes, paraît très acceptable, est, en exécution, presque invisible quand on se place à la distance nécessaire pour voir l'ensemble d'un grand ouvrage. Le couronnement du pont semble alors incomplet : la corniche n'étant plus surmontée de son attique, si on peut donner ce nom à un parapet de pont.

Matériaux employés. — *Sables et graviers* provenant du lit du Doubs.

Mortiers	Maçonnerie des grandes voûtes au-dessus des joints de rupture..... Maçonnerie de remplissage entre les poutres des chambres de travail des caissons................	600 kgs de ciment artificiel n° 1 de Vicat pour 1 mètre cube de sable.
	Maçonnerie de briques .... Chape...........................	600 kgs de ciment Pavin de Lafarge pour 1 mètre cube de sable.
	Autres maçonneries..............	350 kgs de chaux du Teil par mètre cube de sable.

Moellons	Maçonneries ordinaires et de remplissage des grandes voûtes ...... Tympans des voûtes et piédroits des voûtes d'élégissement	Calcaire de Remigny (Saône-et-Loire), blanc rougeâtre.
	Parements des piles et des culées..	Calcaire de Palinges (Saône-et-Loire), gris bleuâtre.
	Bandeaux et douelles des grandes voûtes	Calcaire de Ruoms (Ardèche), grisâtre.

Pierre de taille. — Calcaires de Ruoms (Ardèche).

Briques dites en « grès du Charollais »; cuites jusqu'à commencement de vitrification, de couleur brun rouge (Usine Baudot et Vairet à Ciry-le-Noble, Saône-et-Loire).

Les voussoirs des grandes voûtes ont des épaisseurs variant de $0^{m},14$ à $0^{m},24$; leurs autres dimensions sont, sauf pour les pierres de sujétion, $0^{m},40$ sur $0^{m},60$.

Exécution des travaux. — Les travaux ont commencé en août 1895.

Les fondations des culées furent exécutées sans difficulté.

Le premier caisson (pile rive droite) fut mis à l'eau le 22 septembre 1895 ; le fonçage à l'air comprimé fut commencé le 7 octobre et, le 21 du même mois, la chambre de travail était complètement remplie de béton. Le dessous de la fondation n'avait été descendu qu'à $6^{m},22$ au-dessous de la retenue; on s'était arrêté sur la marne compacte, comme le prévoyait du reste le projet et on n'avait rencontré aucune difficulté dans le travail.

Cette rapidité de fonçage et le beau temps engagèrent l'entrepreneur à commencer immédiatement la fondation de la seconde pile, quoique la saison des pluies, qui amène de fortes crues sur le Doubs, fut venue. La mise en place du second caisson se fit moins facilement que celle

du premier : l'installation des appareils du sas, le fonçage, l'exécution des maçonneries se firent plus lentement qu'on l'avait prévu; et les pluies survinrent avant la fin du travail à l'air comprimé. A partir de ce moment aucun répit ne fut laissé par la fréquence des crues et leur hauteur; en deux mois, trois fois les eaux recouvrirent complètement la cloche à air.

Lorsque l'on cessa de comprimer l'air dans la chambre de travail, parce que le bateau sur lequel étaient installés les compresseurs d'air menaçait, malgré toutes les précautions prises, d'être entraîné et brisé par les eaux, le caisson s'enfonça brusquement de $0^{m},80$ environ, et, comme il recevait à l'amont la charge du courant rapide des eaux et qu'il n'était pas guidé, il s'inclina vers l'aval d'une dizaine de degrés environ. Le plafond de la chambre de travail fut légèrement déformé.

Quand la baisse des eaux le permit, on consolida fortement, avec des étais, la chambre de travail dans laquelle les ouvriers refusaient de descendre, puis on reprit le fonçage; le dessous de la fondation fut descendu à $6^{m},98$ sous la retenue. — Le caisson fut redressé, mais il ne fut pas possible de le ramener exactement dans la position projetée; il fut dévié en aval et à gauche d'une trentaine de centimètres. Cette déviation n'a pas eu d'inconvénient, à raison des larges retraites prévues au-dessous du socle.

Le remplissage de la chambre de travail ne fut terminé que le 13 janvier 1896.

Après une nouvelle crue extraordinaire, qui s'éleva à $7^{m},20$ au-dessus de l'étiage, les piles furent élevées et les cintres mis en place sans difficulté.

Pour ces cintres, en bois de sapin, sauf les semelles, qui étaient en chêne, on s'était inspiré du type employé à Paris au pont au Change et au pont de Tolbiac.

La construction des voûtes fut faite par tronçons et

par rouleaux. Le premier rouleau avait seulement l'épaisseur d'un moellon (alternativement $0^m,60$ et $0^m,40$) ; le second complétait l'épaisseur de la voûte. Le nombre des tronçons était de six pour chaque voûte.

La voûte rive gauche fut terminée le 4 août 1896 ; l'arche centrale le 20 août, et celle rive droite, le 5 septembre. Les premiers rouleaux de chaque voûte avaient été clavés, pour la première, le 17 juillet, pour la deuxième et la troisième, le 6 août.

On voulait décintrer dans les premiers jours d'octobre; malheureusement, le 22 septembre, la pluie commença à tomber et dura plusieurs jours. Le Doubs monta en quelques jours de 6 mètres, charriant une grande quantité de joncs, de foins et d'arbres.

Le 26 septembre une souche énorme, après avoir brisé un des pieux de protection, heurta le cintre de l'arche centrale et déversa en partie la ferme d'amont. On amarra solidement cette ferme par des câbles en acier tendus par des treuils ancrés sur les rives ; mais, pendant cette opération, les joncs s'accumulaient entre les bois. Effrayés par la violence du courant et par les chocs répétés que recevaient les cintres, les ouvriers refusèrent de s'engager sous les voûtes, pour enlever ces joncs qui formaient barrage et plaçaient le cintre dans une situation des plus critiques. M. l'Ingénieur en chef Jozon pénétra alors, armé d'un croc, au milieu des fermes du cintre et, suivi par l'Ingénieur, commença l'enlèvement des joncs. Quelques ouvriers, rassurés par sa présence sous les voûtes et stimulés par son exemple, vinrent l'aider, et le cintre put être dégagé.

Lorsque les eaux furent descendues au niveau des boîtes à sable, on constata qu'à l'arche rive gauche 7 boîtes avaient été enlevées et 2 décalées ; à l'arche centrale, 10 enlevées et 11 décalées; l'arche rive droite n'avait perdu qu'une seule boîte.

On avait cependant pris soin, avant la crue, de garnir de mortier le joint de chaque boîte et de son tampon et de protéger les boîtes les plus exposées par des sacs à ciment et des torons de paille. Fort heureusement, à côté de chaque boîte, on avait placé entre les semelles un cylindre en bois, debout, provenant des récépages des pieux et ayant, à quelques millimètres près, la hauteur des boîtes avec leur tampon. Ces bois, solidement cloués aux semelles, résistèrent aux eaux, et les charges que supportaient les boîtes à sable enlevées ou décalées furent reportées sur eux.

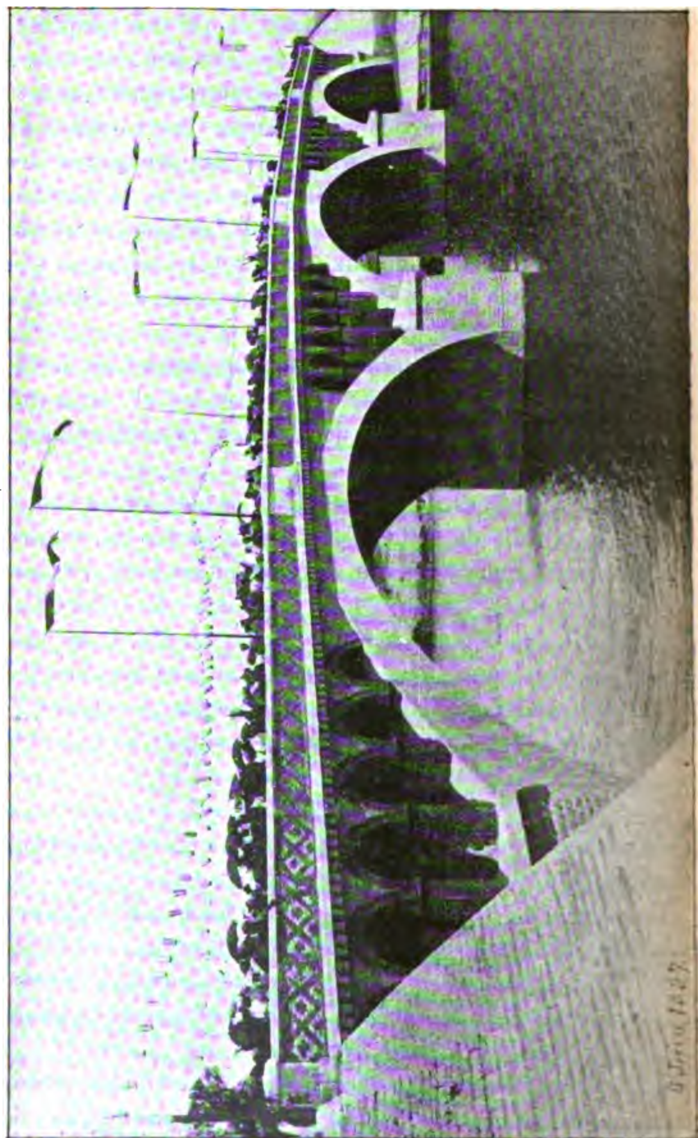
Il dut se produire alors un commencement de décintrement brusque des arches rive gauche et centrale; cependant les maçonneries des voûtes restèrent adhérentes aux cintres.

Aussitôt que la crue fut écoulée, on décintra complètement la voûte du milieu; elle était restée sur cintre quarante-huit jours après le clavage du rouleau d'extrados, le sommet de la voûte s'abaissa de $0^{m},019$ à l'amont, et de $0^{m},024$ à l'aval. A l'extrados, il se produisit, sur les reins, deux fissures à peu près symétriques atteignant environ 1 millimètre d'épaisseur. — Après le décintrement brusque dû à la crue, on aurait pu redouter un résultat moins satisfaisant.

Quelques jours plus tard on constata que le mouvement d'abaissement s'était continué : l'abaissement total était alors de $0^{m},034$ à l'amont comme à l'aval.

L'arche rive gauche fut décintrée le 13 octobre, soixante-dix jours après le dernier clavage ; l'abaissement de la voûte fut de $0^{m},014$; une seule fissure se produisit à l'extrados du côté de la culée ; elle avait un quart de millimètre de largeur à l'extrados.

La troisième arche fut décintrée le 16 novembre seulement, après une nouvelle crue de $6^{m},50$. Cette voûte était clavée depuis soixante et onze jours. L'abaissement du



sommet de la voûte atteignit $0^m,019$; mais aucune fissure ne fut constatée sur les reins. Ce n'est que quelques jours après que deux cassures presque imperceptibles furent remarquées à l'extrados, aux joints de rupture.

La construction des tympans, des voûtes d'élégissement, des parapets et de la chaussée s'est faite sans difficulté.

La circulation des voitures fut autorisée sur le pont à partir du 22 mai 1897.

Dépenses. — La dépense totale de construction du pont, des rampes d'accès et travaux aux abords, y compris les frais de surveillance, indemnité de campagne au conducteur, etc..., s'élève à 205.638 fr. 47, se décomposant en :

Travaux à l'entreprise............	$191.662^f,91$
Travaux en régie	$13.975\ ,56$

On a payé cette dépense au moyen des ressources ci-après :

Subvention extraordinaire de l'État..	$50.000^f,00$	$94.291^f,00$
— ordinaire de l'État.......	$44.291\ ,00$	
— du département......................		$56.222\ ,47$
Contingents communaux		$55.125\ ,00$
Total		$205.638^f,47$

Par nature d'ouvrages, la dépense totale se décompose ainsi :

Rampes d'accès et abords			$10.425^f,77$
Pont	Fondations..........	$65.023^f,23$	$192.212\ ,70$
	Élévation............	$130.160\ ,47$	

Les *cintres* ont exigé l'emploi de $414^{m3},13$ de bois et de 10.169 kilogrammes de fer.

Par mètre carré de douelle, ces chiffres donnent : $0^{m3},47$ de bois, $11^{kg},45$ de fer et une dépense de 25 fr. 52.

Dépenses à l'unité —		Au-dessus des fondations	Fondations comprises
Par mètre linéaire de pont		891f,51	1.337f,07
Par mètre superficiel	en plan (entre parapets)	148 ,59	222 ,85
	en élévation	72 ,62	96 ,14
Par mètre cube	de l'ouvrage	41 ,50	48 ,78
	du solide circonscrit	12 ,04	11 ,90

Nous avons dressé le projet de cet ouvrage, et nous avons fait exécuter les travaux sous la direction de M. l'Ingénieur en chef Jozon.

La surveillance du chantier a été faite avec beaucoup de dévouement et d'intelligence par M. Pansin, conducteur des Ponts et Chaussées.

Les entrepreneurs étaient MM. Boyer et Antoine.

Chalon-sur-Saône, le 20 septembre 1897.

N° 46

REMARQUES ET EXPÉRIENCES
A L'OCCASION D'UN
MANQUE D'EAU DANS UN GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

Par M. C. WALCKENAER, Ingénieur des Mines,
Secrétaire de la Commission centrale des Machines à vapeur.

A la suite d'une surchauffe par manque d'eau, d'où est résultée la rupture d'un bouilleur de chaudière dans une usine de Montreuil-sous-Bois, le Service des Mines a recueilli sur l'accident des indications qui valent d'être notées. Elles fournissent un exemple des dérangements auxquels peut être sujet le fonctionnement du tube indicateur du niveau de l'eau, lorsqu'au lieu d'être directement greffé sur la chaudière par de courtes tubulures cet important appareil de sûreté est relié au générateur par des tuyaux longs et étranglés (*). La considération de cet accident m'a conduit à effectuer quelques expériences, en vue de préciser l'ordre de grandeur de l'un des phénomènes d'où peuvent, en certains cas, dépendre ces perturbations: la condensation dont la communication de vapeur est le siège. On trouvera dans ce qui suit les résultats de ces essais. Ils peuvent offrir quelque intérêt, d'un point de vue général, comme contribution à l'étude de la condensation de la vapeur dans les tuyaux.

(*) J'ai déjà entretenu de ce sujet les lecteurs des *Annales* (Précautions à prendre dans l'installation et l'emploi des tubes indicateurs du niveau de l'eau des chaudières à vapeur ; *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1894, 2e trimestre, p. 631).

I. — Circonstances de l'explosion de Montreuil.

§ 1. **Récit de l'accident.** — Voici d'abord ce qui s'est passé à Montreuil-sous-Bois. Le générateur horizontal, à foyer extérieur, comprenait un corps cylindrique avec deux bouilleurs inférieurs et un réchauffeur latéral. La surface de chauffe était 60 m², la capacité 14,5 m³, le timbre 7 kg : cm²; les bouilleurs mesuraient 65 centimètres de diamètre et 8,55 m de longueur. L'accident a consisté dans une déchirure au bouilleur de gauche. La plaie occupait 80 centimètres de longueur, suivant la génératrice inférieure de la tôle de coup de feu, et bâillait de 11 centimètres; autour d'elle, la surface extérieure du métal était bleuie sur une étendue de 15 ou 20 centimètres; au-delà de la teinte bleue s'étendait une auréole d'oxyde rouge. La surchauffe ne s'expliquait point par l'accumulation du tartre ou des boues, car l'appareil ne contenait que peu de dépôts. L'explosion n'avait fait qu'un bruit léger et n'avait produit aucun effet dynamique. Enfin le dépôt qui tapissait la paroi du bouilleur montrait, à différentes hauteurs, des lignes horizontales nettes et saillantes, accusant les stades de l'évaporation progressive. A l'évidence, cette chaudière avait manqué d'eau.

Il n'est, d'ailleurs, pas surprenant que le régime normal de son alimentation se fût trouvé troublé. L'alimentation, qui avait lieu soit par retour d'eau, soit au moyen d'un injecteur, aboutissait dans le réchauffeur latéral; celui-ci avait normalement avec le générateur proprement dit deux communications, l'une ABCDD′ (Pl. 33, *fig.* 1) plongeante des deux parts, l'autre EFG allant de la partie supérieure du réchauffeur au dôme qui surmontait le corps cylindrique. Or, ainsi qu'on l'a reconnu après l'explosion, la communication ABCDD′ s'était totalement obstruée par les dépôts, un peu au-dessus de la bifurcation des

deux branches. Cette communication supprimée, il est explicable que l'alimentation ne se fût poursuivie par EFG que d'une manière défectueuse.

Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en un tube de verre et un flotteur magnétique. Ce dernier était dépourvu de sifflet, et le chauffeur reconnaît n'en avoir pas observé l'index ; mais il a consulté et même purgé le tube de verre, et, d'après les indications de ce tube, il croyait avoir de l'eau dans le générateur. Le contre maître, de son côté, a vu de l'eau dans le tube cinq ou dix minutes avant l'explosion. Le chef de l'usine en avait vu deux heures auparavant.

Seulement, pressé de questions par M. l'ingénieur des Mines Pellé, le chauffeur a fini par expliquer dans quelles conditions on voyait l'eau dans le tube de verre. « Cette eau, lorsqu'elle y était visible, était constamment traversée par des bulles de vapeur, qui la soulevaient et produisaient des oscillations continuelles d'une extrémité à l'autre du tube ; parfois l'eau disparaissait complètement, puis revenait peu à peu. Lorsque le chauffeur avait purgé (ce qu'il a fait pour la dernière fois une heure ou deux avant l'accident), l'eau ne réapparaissait pas tout de suite ; il mettait alors son giffard en marche ; au bout de quelques minutes l'eau était de nouveau visible, mais toujours avec les mêmes bulles de vapeur et la même agitation ; le chauffeur attribuait ce retour de l'eau au fonctionnement de l'alimentation et, croyant avoir assez alimenté, il arrêtait alors son giffard. »

D'où venaient ces apparences, alors que le générateur devait manquer d'eau presque totalement ?

§ 2. **Disposition du tube indicateur.** — Le tube de verre, placé contre une paroi latérale de la chambre de chauffe était relié à la chaudière par des tuyaux dont le diamètre intérieur mesurait 20 ou 22 millimètres, et dont les lon-

gueurs étaient : 1,65 m pour le tuyau de communication d'eau, qui partait du bouilleur de gauche ; 3,20 m pour le tuyau de communication de vapeur, greffé sur la colonnette du flotteur magnétique. Ces tuyaux présentaient plusieurs inflexions. Celui de communication de vapeur était, pour la plus grande partie, horizontal. Celui de communication d'eau avait deux parties horizontales successives, qui donnaient à son profil en long une figure d'escalier, comme le montre la *fig.* 1. Aux points d'insertion dans le générateur, le diamètre de ces tuyaux se réduisait à 15 ou 16 millimètres. A leurs extrémités opposées, les montures du tube de verre étaient d'un système spécial, qui ne laissait à l'eau et à la vapeur que des passages resserrés.

Dans un pareil ensemble, s'il ne se produisait aucune obstruction, si de plus les parties remplies de vapeur n'étaient le siège d'aucune condensation ni perte de charge, il est certain qu'un abaissement croissant du plan d'eau dans le générateur amènerait d'abord la disparition de l'eau du tube de verre, puis la vidange des gradins successifs du tuyau de communication inférieur ; et, à partir de l'époque où le bouilleur au sommet duquel est greffé ce tuyau aurait commencé à manquer d'eau, l'ensemble considéré ne contiendrait plus que de la vapeur. Une réserve est cependant encore à faire : il en serait comme nous venons de dire, si les parties horizontales du tuyau de communication inférieur ne présentaient pas la moindre contre-pente de la chaudière vers le tube de verre, car autrement les points bas de ce tuyau pourraient ne pas se vider entièrement par siphonage et conserver une certaine quantité d'eau stagnante après la vidange générale. Mais, et quoi qu'il en soit de ce dernier point, le refroidissement de la vapeur dans les tuyaux, les condensations qui en résultent, les phénomènes d'écoulement qui s'ensuivent, et conjointement

avec ces phénomèmes les étranglements, sinon même les obstructions complètes qui peuvent se produire, viennent singulièrement compliquer les choses. La première question qui se pose, pour en bien juger, est de savoir quelle est à peu près l'importance des condensations de la vapeur.

II. — Résultats d'expériences sur la condensation.

§ 1. **Expériences anciennes.** — Les expériences de M. J. Chrétien (*) ont déterminé la condensation produite dans un tuyau en fer de 66 millimètres de diamètre intérieur, 3 millimètres d'épaisseur (**) et 26,36 m de long, installé à l'air sous un hangar. Ce tuyau, en pente légère, partait d'une chaudière et aboutissait au sommet d'un tube de verre disposé comme le représente la *fig.* 2, Pl. 33 (***); on entr'ouvrait le robinet R de manière à maintenir un niveau constant dans le tube de verre, et l'eau recueillie était pesée de minute en minute. Par heure et par mètre carré de surface soit intérieure, soit extérieure du tuyau, la condensation observée, en fonction de la pression à la chaudière, a été celle représentée sur les *fig.* 3 et 4 par les courbes marquées *mn*.

Mais ces résultats ne sauraient être appliqués à une conduite quelconque. La condensation par mètre carré est notamment influencée d'une manière importante par le diamètre du tuyau. Ce fait n'a pas été ignoré de M. Chrétien : « A surfaces extérieures égales, écrit-il, les petits

---

(*) Le transport de la vapeur à de grandes distances et sa canalisation. *Bulletin technologique de la Société des anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers*, 1885.

(**) Le texte du mémoire porte 6 millimètres, mais c'est visiblement une erreur d'écriture; le dessin représentant le montage des expériences indique que le tuyau avait 72 millimètres de diamètre extérieur et que les surfaces totales intérieure et extérieure étaient respectivement 5,53 et 6,06 m².

(***) Empruntée au mémoire cité.

diamètres produisent plus de condensation que les grands; » seulement son travail, n'ayant porté que sur une seule espèce de tuyaux, n'en fournit pas de démonstration expérimentale. Cette influence du diamètre est, en revanche, nettement accusée dans les résultats des expériences auxquelles M. l'Ingénieur en chef des Mines Ledoux a fait procéder à Anzin (*). Dans ces expériences, la condensation de la vapeur (lorsqu'elle n'est pas en régime d'écoulement comme dans une conduite de machine en marche, mais que l'extrémité du tuyau qui la contient ne donne issue qu'à l'eau condensée) a été mesurée dans trois tuyaux en fer ayant environ 295 mètres de longueur, et des diamètres intérieurs de 100 millimètres, 71 et 47 millimètres respectivement. Il est vrai que ces tuyaux étaient enveloppés; les condensations auxquelles ils ont donné lieu ne sont donc pas comparables avec celles des tuyaux nus, mais elles sont comparables entre elles. Ces tuyaux portaient uniformément une double enveloppe de tresse de paille recouverte de papier goudronné. Avec le tuyau de 100 millimètres, cinq expériences, dont deux à la pression de 3 kg : cm^2 et trois à celle de 6 kg : cm^2, ont accusé en moyenne une condensation de 795 grammes par mètre carré et par heure. Avec le tuyau de 71 millimètres, trois expériences, dont deux à 3 kg : cm^2 et une à 6 kg : cm^2, ont fourni une moyenne peu différente : 809 grammes par m^2-h. Mais, lorsqu'on passe au tuyau de 41 millimètres, sur lequel cinq expériences ont été faites, comme sur celui de 100 millimètres, à la pression de 3 kg : cm^2 pour deux d'entre elles et à 6 kg : cm^2 pour les trois autres, on voit la condensation moyenne s'élever à 1,8 kg par m^2-h.

(*) **Étude sur les pertes de charge de l'air comprimé et de la vapeur dans les tuyaux de conduite.** ***Annales des Mines***, **9e série, t. II, p. 541 et suiv.**

Dans ces conditions, la condensation qui a lieu dans le tuyau de communication de vapeur d'un tube indicateur du niveau de l'eau ne saurait être calculée en partant des résultats d'observation relatifs aux conduites du genre de celles qui alimentent les machines. Les données expérimentales doivent être demandées à des essais spéciaux. Ceux dont il va être rendu compte tirent leur intérêt de cette remarque.

§ 2. **Expériences nouvelles.** — Ces essais ont été effectués sur l'une des chaudières à vapeur des Anciens Établissements Cail (*). Cette chaudière, horizontale à foyer intérieur, tubulaire et à flamme directe, de 50 m^2 de surface de chauffe, comprend deux corps superposés. Le corps inférieur, du type locomotive, contient le système de chauffage, composé du foyer et des tubes à fumée ; le corps supérieur est un cylindre horizontal de 80 centimètres de diamètre, surmonté d'un dôme de prise de vapeur. Le plan d'eau, dans cet ensemble, s'élève jusqu'au tiers environ du diamètre vertical du corps supérieur. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau, qui servent couramment à la conduite de la chaudière, comprennent un indicateur à glace plane, directement greffé par de courtes tubulures sur le fond d'avant du corps supérieur, et un système de robinets étagés.

Pour les expériences, on avait installé en outre, dans la position représentée par les *fig.* 5 et 6 (Pl. 33), un tube indicateur en verre EF, mesurant 10 mm de diamètre intérieur et 21,5 cm de hauteur visible entre ses montures ; celles-ci, d'un modèle courant, portaient les robinets de

(*) M. Bougault, qui a bien voulu mettre cette chaudière à ma disposition et y faire installer la tuyauterie nécessaire aux expériences, et ses collaborateurs, qui ont donné les soins les plus obligeants à la préparation des essais, voudront bien trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

communication D et G et le robinet purgeur R. La monture supérieure était reliée, par un tuyau BC, à une prise de vapeur A greffée sur la génératrice arrière du dôme vertical, à environ 86 centimètres au-dessus du plan d'eau.

Cette communication BC pouvait être à volonté faite d'un tuyau de 30, de 20 ou de 10 millimètres de diamètre intérieur ; dans les trois cas, le tuyau était en cuivre de 2,5 mm d'épaisseur, non enveloppé, et présentait sensiblement 4,7 m de développement entre ses brides terminales. Sur la plus grande partie de sa longueur, il courait près ou contre la surface du calorifuge dont est revêtu le générateur.

Avec chacun de ces tuyaux de communication, deux méthodes ont été employées. Dans l'une, comme dans les expériences de M. Chrétien, le tube de verre EF n'était pas relié à la chaudière par le bas et servait simplement à recevoir l'eau de condensation qui se déversait à sa partie supérieure. On tenait le robinet de purge R entr'ouvert, et l'on réglait son ouverture de manière à avoir continuellement de l'eau à la base du tube de verre et de la vapeur à son sommet. Du robinet R pendait un tuyau de caoutchouc, à l'extrémité inférieure duquel l'eau était recueillie. L'expérience était prolongée le temps nécessaire pour recueillir plusieurs litres d'eau.

Dans l'autre méthode, la monture inférieure du tube de verre était reliée, par un tuyau HI de 10 millimètres, à un robinet de prise greffé sur la chaudière, comme la *fig.* 6 le montre, un peu au-dessous du plan d'eau. Le tube de verre EF étant en état de fonctionnement normal, comme s'il avait constitué l'indicateur du niveau de l'eau de la chaudière, on fermait, à un instant donné, le robinet G de la communication inférieure : aussitôt, l'afflux d'eau de condensation n'étant plus compensé par un écoulement vers la chaudière, le niveau montait dans le tube

de verre. On notait le nombre de centimètres dont il s'emplissait et le temps nécessaire pour l'emplir : de la vitesse d'emplissage ainsi mesurée résultait la valeur de l'afflux.

Par la première méthode, le tuyau de 20 millimètres de diamètre intérieur a donné :

Condensation par heure et par mètre carré	de surface	
	intérieure	extérieure
	kilogr.	kilogr.
A une pression moyenne légèrement supérieure à 5 kg : cm²	6,5	5,2
A une pression variant de 9 à 10 1/2, moyenne vers 9 1/2 kg : cm²	8,3	6,6

Ce sont les points figuratifs *a*, *b* des diagrammes, *fig.* 3 et 4 (Pl. 33). Ils montrent approximativement comment, pour ce diamètre et dans ces conditions d'installation du tuyau, le taux de la condensation croît avec la pression.

D'autre part, la même méthode, appliquée aux tuyaux de 30 et de 10 millimètres de diamètre intérieur, sous une pression de 5 à 5 1/2 kg : cm², a donné :

Condensation par heure et par mètre carré	de surface	
	intérieure	extérieure
	kilogr.	kilogr.
Tuyau de 30 mm intérieur	6,0	5,2
— 10 —	9,8	6,5

Ce sont les points figuratifs *c*, *d* des diagrammes. Leur comparaison entre eux et avec le point *a* montre que le taux de condensation augmente à mesure que le diamètre

du tuyau diminue. L'augmentation est surtout marquée pour le tuyau étroit : on a déjà remarqué une circonstance du même genre dans les résultats des essais de M. Ledoux.

En portant sur un diagramme, ayant les diamètres de tuyau pour abscisses et les condensations pour ordonnées, et relatif à la pression de 5 1/4 kg : cm^2, le résultat des expériences de M. Chrétien et ceux que nous venons d'obtenir, on trouve la *fig.* 7. Si l'on considère que les expériences de M. Chrétien et les nôtres n'ont pas eu lieu dans des conditions entièrement comparables, on voit que la concordance est satisfaisante dans la mesure où la nature des choses le comporte.

Passons aux résultats de la seconde méthode. Appliquée au tuyau de 20 millimètres, elle a donné :

Condensation par heure et par mètre carré...........	de surface intérieure	de surface extérieure
	kilog.	kilogr.
A une pression de 7 1/2 à 6 3/4 kg : cm^2..	6,3	5,0
— 8 à 9 kg : cm^2........	7,2	5,8

Ce sont les points *e*, *f*, des *fig.* 3 et 4. Ils indiquent, comme cela devait être, une condensation croissante avec la pression ; mais il semble que cette seconde méthode fournisse systématiquement des nombres moindres que la première. Une différence dans le même sens entre les résultats des deux méthodes paraît s'être produite pour le tuyau de 30 millimètres (*).

Quant à l'application de la seconde méthode au tuyau de 10 millimètres, voici ce qu'elle a permis d'observer.

(*) Toutefois, je m'abstiens de donner les résultats numériques des observations faites avec le tuyau de 30 millimètres par la deuxième méthode, en raison d'incertitudes qui ont affecté les observations.

Avec ce tuyau, la venue d'eau est fort irrégulière ; pendant une même observation, malgré sa courte durée, il se faisait souvent des variations considérables dans l'allure de la venue d'eau, comme si le tuyau s'engorgeait et débitait son eau de condensation par paquets. Il a été fait 40 de ces observations, à des pressions variant de 9 à 13 1/2 kg : cm^2, disons en moyenne 11 kg : cm^2 environ ; 28 d'entre elles, soit les $\frac{7}{10}$, s'écartent de moins de 30 p. 100 de leur moyenne générale, qui correspond à une condensation de 12,6 kg par heure et par mètre carré de surface intérieure du tuyau, ou 8,4 kg par mètre carré de surface extérieure. C'est le point figuratif g des diagrammes : on voit que ce point concorde avec le point figuratif d fourni par la première méthode pour ce même tuyau.

En résumé, les expériences dont il vient d'être rendu compte n'ont assurément pas une précision rigoureuse; mais cette précision serait inutile à chercher, puisqu'un certain nombre des données, comme la position du tuyau condensant par rapport au revêtement calorifuge ou au massif du générateur, la ventilation de la chaufferie, etc., varient nécessairement dans une forte mesure d'une installation à une autre. Ces expériences suffisent à montrer d'une manière approximative comment le taux de condensation, qui croît avec la pression pour un tuyau donné, s'élève pour une même pression quand le diamètre du tuyau diminue. Cette variation semble surtout importante à partir d'une certaine limite de diamètre au-dessous de laquelle la venue d'eau dans le tube de verre est irrégulière, comme s'il se produisait des engorgements. Il est naturel que l'encombrement du tuyau condensant par l'eau de condensation soit d'autant plus accentué que le tuyau est plus étroit, puisque la surface condensante ne décroît que proportionnellement au diamètre, tandis que la section diminue comme son carré. Il est naturel aussi que

plus il y a une proportion importante d'eau dans le tuyau pour en mouiller les parois, plus les transmissions de chaleur et la condensation deviennent actives.

III. — Conséquences des étranglements; conclusions diverses.

§ 1. **Observations faites aux Établissements Cail.** — L'installation qui a servi aux expériences précédentes a encore permis quelques autres constatations. Il est bien connu qu'en étranglant suffisamment la communication de vapeur, on peut faire marquer à un tube de verre un niveau supérieur d'une quantité quelconque au niveau réel (*). C'est la conséquence directe du phénomène de distillation que nous venons d'étudier. La valeur de l'étranglement nécessaire pour un relèvement donné du niveau dans le tube dépend vraisemblablement du point où est situé cet étranglement : si celui-ci est à l'origine du tuyau de communication sur la chambre à vapeur de la chaudière, il agit sur un courant de vapeur dont le débit est égal à la condensation produite dans le tuyau; si, au contraire, l'étranglement est voisin du tube de verre, la vapeur en ce point est à peu près complètement stagnante, mais c'est l'écoulement de l'eau condensée que cet étranglement contrarie.

Or il était facile d'étudier ce second cas, sur l'installation représentée par les *fig.* 5 et 6 de la Pl. 33, en fermant progressivement le robinet D. Les observations ont été faites alors que le tuyau de communication BC était celui de 30 millimètres de diamètre. Le robinet D, à pleine ouverture, offrait une section de passage de 95 mm². Quand il était fermé jusqu'à n'offrir plus que 2 mm² de sec-

(*) Fait déjà rappelé au cours de l'étude sur les précautions à prendre dans l'installation et l'emploi des tubes indicateurs, *loc. cit.*, p. 191.

tion libre, le tube de verre s'emplissait complètement : c'est ce qu'indique l'asymptote verticale correspondant à l'abscisse 2 sur la *fig*. 8. Pour des étranglements moindres, correspondant à des ouvertures de 35 mm², 15 mm², 5 mm², on avait des élévations du niveau de plus en plus sensibles : la *fig*. 8 donne deux exemples des relèvements progressifs ainsi obtenus. Mais l'effet le plus curieux à observer était celui d'une ouverture du robinet pour laquelle la section libre était d'environ 2,5 mm². Le niveau était alors instable et le régime oscillatoire : l'eau montait et descendait à intervalles fréquents, avec une amplitude d'oscillations de plusieurs centimètres ; parfois le tube finissait par s'emplir complètement et paraissait alors devoir rester plein ; dans un autre essai, où probablement l'ouverture du robinet correspondait plus rigoureusement à l'équilibre, le régime oscillatoire a semblé devoir durer indéfiniment.

On pouvait aussi obtenir un niveau incertain et un régime oscillatoire analogue, en étranglant à un degré convenable le robinet de communication inférieur G.

§ 2. **Remarques sur le manque d'eau de Montreuil.** — Ces constatations sont de nature à préciser les idées sur les troubles que certains étranglements peuvent apporter dans le fonctionnement des tubes de verre, et sur les apparences trompeuses auxquelles peuvent donner lieu certaines obstructions. La question est d'ailleurs complexe, et les perturbations possibles dépendent des circonstances particulières à chaque cas. Revenons, comme exemple, à celui du manque d'eau de Montreuil-sous-Bois.

D'après la *fig*. 3, lorsqu'un tuyau de communication de vapeur, comparable comme longueur, constitution et emplacement à ceux de nos expériences, mesure 20 millimètres de diamètre intérieur, et que la chaudière fonctionne sous la pression de 7 kg : cm², c'est aux environs de 7 kilogrammes par mètre carré de surface intérieure

et par heure qu'il y a lieu d'estimer le taux moyen de la condensation.

Supposons ce chiffre applicable au tuyau de communication supérieur *mnp* de la chaudière de Montreuil : il se condensait donc dans ce tuyau 1,4 kg de vapeur par heure, soit par seconde 0,39 g, correspondant à un volume de 94 cm^3 de vapeur sous la pression de 7 $kg:cm^2$, et à un volume d'eau de 0,4 cm^3 environ.

S'il n'y avait eu ni étranglement dans le système des tuyaux, ni perturbation dans le fonctionnement de la chaudière, le mouvement des fluides dans le sens *mnp*, causé par cette condensation, n'aurait sans doute pas engendré une perte de charge capable de modifier d'une manière sensible le niveau de l'eau dans le tube de verre.

Mais, pour expliquer les faits relatés par le chauffeur de Montreuil, ce n'est pas ainsi qu'il faut se représenter les choses.

Nous avons vu qu'un étranglement suffisamment fort du tuyau *mnp* peut relever le niveau de l'eau dans le tube de verre d'une quantité quelconque au-dessus du niveau réel. Comme hypothèse extrême, une obstruction complète en *m* fait rapidement monter le niveau de l'eau jusqu'à emplir de liquide tout le système. Ceci suppose, bien entendu, que l'extrémité *v* du tuyau inférieur plonge dans l'eau.

Or, faisons cette même hypothèse extrême d'une obstruction complète en *m*, mais en supposant que, par suite d'un manque d'eau (ou de l'existence d'un ciel de vapeur dans le bouilleur), l'extrémité *v* du tuyau de communication inférieur plonge dans la vapeur. Imaginons qu'à un certain instant il n'y ait que de la vapeur dans tout l'ensemble *mnprstuv*, et voyons, à partir de cet instant, ce qui va se passer.

La vapeur contenue dans *mnp* se condensant, il se fait un appel de vapeur dans le sens *vutsr*, tel que le tube de

verre est traversé de bas en haut par 94 cm^3 de vapeur à la seconde. En même temps, l'eau provenant de la condensation s'écoule dans le sens *mnpr*, et au point *r*, où existe un étranglement, il faut, pour qu'un régime s'établisse, que cette eau passe de haut en bas, à raison de 0,39 cm^3 par seconde, pendant qu'un volume 240 fois plus grand de vapeur surgit de bas en haut. La vitesse ascendante de la vapeur est 120 cm par seconde dans le tube de verre (94 : 0,785), mais elle est beaucoup plus grande au passage de l'étranglement *r*. On conçoit que l'eau repoussée et brassée par cette vapeur ne franchisse l'étranglement que par intermittences, et, ayant besoin d'une certaine charge pour forcer le passage, s'accumule sur une hauteur notable au-dessus du point *r*. Un phénomène analogue doit se produire aussi dans la partie verticale *pn* du tuyau de cuivre, au-dessus de l'étranglement existant en *p*. Quant au tuyau inférieur *rstuv*, on peut supposer que l'eau qui parvient à franchir le passage *r* et celle qui se forme par condensation dans ce tuyau inférieur lui-même s'écoulent, en sens inverse de l'ascension de la vapeur, sans que les mouvements s'y contrarient sensiblement, sauf peut-être dans une certaine mesure au-dessus du coude *t*.

Il est possible que, dans l'hypothèse où nous nous sommes placés, celle d'une obstruction totale en *m*, il ne puisse s'établir aucun régime avant que le tube de verre soit complètement plein. Si tel est le cas, c'est qu'il n'y avait pas lieu d'aller jusqu'à cette hypothèse extrême, et qu'il faut supposer, par exemple, qu'il existe seulement en *m* un étranglement. Dans cette nouvelle hypothèse, partons, comme ci-dessus, d'un instant où de la vapeur seule emplit le système depuis *m* jusqu'en *v*. Dans les premiers instants qui suivent, la vapeur appelée dans *mn* par la condensation trouve un chemin plus facile par *vutsrp* qu'à travers l'étranglement *m* et le tuyau *mn* ; les choses

commencent donc par se passer à peu près comme dans notre première hypothèse ; mais, à mesure que l'eau s'accumulera au-dessus des points *r* et *p*, la pression baissera légèrement dans *mn*, une partie croissante de l'afflux de vapeur aura lieu par *m*, une partie décroissante par le chemin ascendant, et un régime s'établira pour une certaine hauteur de la colonne d'eau bouillonnante dans le tube de verre.

Ce niveau d'équilibre dynamique pourra d'ailleurs subir des oscillations, comme le niveau instable observé dans l'une de nos expériences. Si l'on ouvre le robinet de purge du tube de verre, toute l'eau sera chassée ; puis, une fois ce robinet refermé, le régime se rétablira progressivement comme ci-dessus.

On peut ainsi rendre compte des faits accusés par le chauffeur de Montreuil. Naturellement nous ne saurions affirmer l'exactitude de chacun des détails de l'explication ; mais, si cet ouvrier a été véridique, ce doit être, aux détails près, à un phénomène de ce genre que se rapporte son récit

---

CHRONIQUE

N° 47

Méthode pour l'analyse des lignes d'influence expérimentales

Par M. HISELY, ancien élève de l'École Polytechnique de Zurich, attaché au Bureau des constructions métalliques de la Compagnie de l'Est.

Les applications de la méthode expérimentale à la vérification de la stabilité des ouvrages métalliques, qui, dans ces derniers temps, se sont rapidement multipliées en France et à l'Étranger, ont posé une foule de problèmes nouveaux, qui sont du ressort de l'analyse, de la géométrie ou de la statique graphique, entre autres ceux qui se rattachent à l'interprétation des résultats de l'expérience. Parmi ces derniers, l'un des plus fréquents est la détermination de la ligne d'influence d'une déformation au moyen du diagramme de cette déformation enregistrée au passage d'une machine. Dans son *Mémoire sur l'Étude expérimentale des Ponts métalliques* (*), M. l'Ingénieur en chef Rabut a signalé l'importance de ce problème dans les recherches relatives soit à la vérification de la stabilité d'ouvrages existants, soit à l'étude de machines en projet, et il a donné une méthode générale pour le résoudre.

Nous allons faire connaître une autre méthode de résolution du même problème, exacte dans le cas où le diagramme à traiter aurait la forme d'une parabole du second degré à axe vertical, approximative dans le cas général, mais suffisante dans la pratique, sous certaines réserves qui seront énoncées plus loin.

Définition et théorème fondamental. — De même qu'on appelle *ligne d'influence d'une charge concentrée* le diagramme d'une défor-

(*) *Annales*, octobre 1896.

mation au passage de cette charge, supposé réduit à l'unité de poids, nous appellerons *ligne d'influence d'une machine* le diagramme d'une déformation au passage de cette machine, les poids d'essieux étant supposés réduits dans le rapport du poids total à l'unité. Nous supposerons, de plus, que l'ordonnée de cette ligne correspond, pour chaque position de la machine, à la résultante R de toutes les charges.

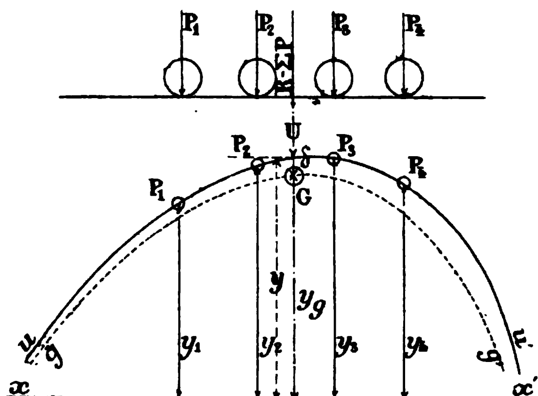


Fig. 1.

Soit (*fig.* 1) gg' la ligne d'influence d'une machine $P_1P_2P_3P_4$, dont nous désignerons l'ordonnée par y_g. Soit uu' la ligne d'influence d'une charge concentrée (pour la même déformation). L'objet de cette note est la détermination de uu' au moyen de gg'.

On a, par définition même,

$$Ry_g = P_1y_1 + P_2y_2 + P_3y_3 + P_4y_4 = \Sigma Py.$$

Le point G de la ligne gg' est donc le centre de gravité des poids P_1, P_2, P_3, P_4, supposés appliqués sur la ligne d'influence uu'. On peut donc énoncer le théorème suivant :

Lorsque les essieux d'une machine circulent sur la ligne d'influence d'une charge concentrée, leur centre de gravité décrit la ligne d'influence de la machine.

Si l'on connaissait l'écartement vertical $UG = \delta$ correspondant à chaque position de la machine, on pourrait tracer la ligne d'influence cherchée, et le problème serait résolu. Mais cet écartement dépend des poids P, des distances entre essieux et

de la forme de la ligne *uu'*. Si la ligne *uu'* était droite, la ligne *gg'* coïnciderait avec elle, δ étant toujours nul. Inversement, δ est maximum au passage d'un point anguleux H de la ligne *uu'* (*fig.* 2), comme il en existe (en théorie du moins) au droit de la

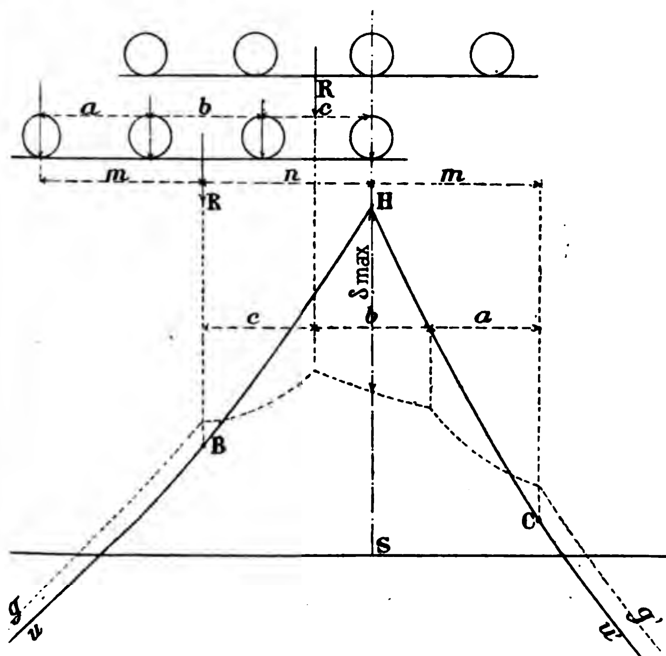


Fig. 2.

section S, dont elle est la ligne d'influence, ou au droit des nœuds adjacents dans un treillis. La ligne *gg'* doit avoir dans cette région autant de points anguleux qu'il y a d'essieux dans la machine donnée, et ces points, qui correspondent au passage de chaque essieu au-dessus d'un sommet H, sont disposés comme l'indique la *fig.* 2.

Cas particulier où l'une des lignes d'influence est une parabole du deuxième degré. — Supposons que la ligne d'influence *uu'* d'une charge unique soit une parabole du 2e degré à axe vertical.

On sait (*fig.* 3) que tous les segments d'une telle parabole dont

les cordes aboutissent à des verticales équidistantes ont la même flèche f. Les ordonnées h_1, h_2 correspondant aux roues intermédiaires sont aussi invariables, quelle que soit la position de la machine. Le centre de gravité G lui-même est donc toujours à la même distance de la corde et, par suite, à la même distance du point U.

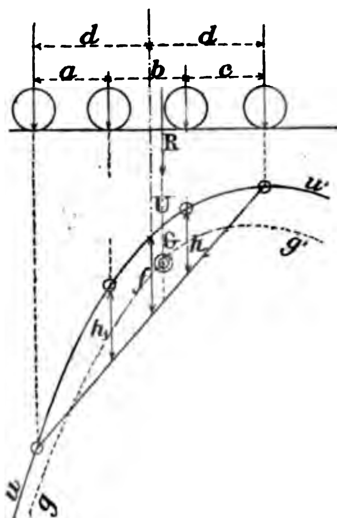


Fig. 3.

Ainsi l'écartement vertical UG = δ est, dans ce cas, une constante.

On peut, par suite, énoncer le théorème suivant :

Lorsque la ligne d'influence d'une charge concentrée est une parabole à axe vertical, celle d'une machine est la même parabole déplacée verticalement du côté de la concavité.

Réciproquement, lorsque la ligne d'influence d'une machine est une parabole à axe vertical, celle d'une charge concentrée est la même parabole déplacée verticalement du côté de la convexité.

D'après ce qui précède, δ varie, au passage d'une machine proportionnellement à f, et on peut poser :

$$\delta = \gamma f,$$

γ étant un nombre qui ne dépend que de la machine.

La flèche f, qui est relative à la ligne cherchée uu', pourrait se mesurer sur la ligne gg', puisque, dans le cas particulier qui nous occupe, ces deux courbes sont les mêmes. Mais il est inutile de tracer gg', et on calculera δ en fonction de la flèche F correspondant au diagramme des déformations dues à la machine même.

Ce diagramme, dont nous désignerons les ordonnées par Y, est en réalité la donnée du problème, et la ligne gg' en est une réduction dans le rapport de R à l'unité. On a donc :

$$y_g = \frac{1}{R} Y \qquad \text{et} \qquad f = \frac{1}{R} F.$$

D'où:

$$(1) \qquad \delta = \frac{1}{R} \gamma F.$$

En désignant par y les ordonnées de la ligne d'influence cherchée uu', on a (*fig.* 1):

$$(2) \qquad y = y_g + \delta = \frac{1}{R} Y + \frac{1}{R} \gamma F = \alpha Y + \beta F.$$

Dans cette équation, α et β sont des constantes de la machine, et la constante β est positive ou négative suivant que le diagramme est convexe ou concave par rapport à xx'.

Cas général. Méthode approximative. — Indépendamment des points anguleux signalés ci-dessus aux abords de la section S (*fig.* 2), la ligne d'influence théorique d'une machine en possède d'autres dans le voisinage des appuis. Ceux-ci correspondent au passage des roues au-dessus de ces appuis; ils sont bien moins apparents que les premiers, et il n'y a généralement pas lieu de s'en préoccuper, même dans les épures théoriques.

En dehors de ces points singuliers, l'arc du diagramme situé au-dessous de la machine peut presque toujours être assimilé à un arc de parabole. On pourra donc lui appliquer la formule (2) ci-dessus, en mesurant les valeurs de Y et de F correspondant à chaque position du convoi, *ce qui se fait facilement au moyen d'un papier transparent sur lequel on a tracé les verticales passant par les roues extrêmes, le milieu et le centre de gravité de la machine.*

On obtiendrait même assez exactement les points B et C de la ligne d'influence cherchée uu' (*fig.* 2), en supposant que les écartements δ en ces points sont les mêmes que ceux trouvés pour les positions-limites voisines.

Mais, dans la pratique, les diagrammes que fournissent les appareils enregistreurs ne présentent jamais de véritables points anguleux, parce que les charges qu'on suppose concentrées se répartissent toujours sur des longueurs plus ou moins grandes. L'application de la méthode approximative ne rencontrera donc que très peu de cas rebelles.

Application numérique à des machines du réseau de l'Est. — Proposons-nous de déduire du diagramme obtenu avec une machine Engerth celui que donnerait une charge concentrée de 10 tonnes.

On a (*fig.* 4) :

$$\alpha = \frac{10}{24,6} = 0,407.$$

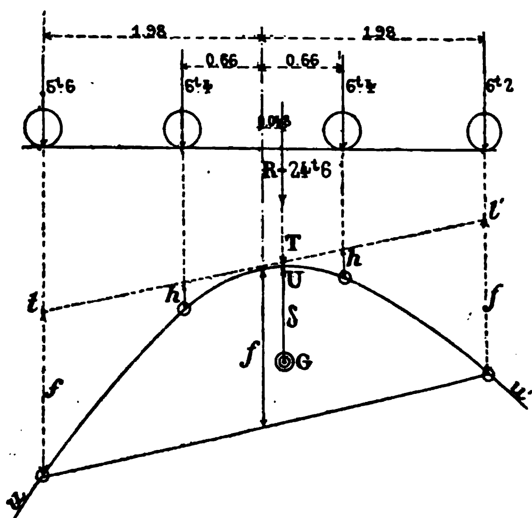


Fig. 4.

Pour déterminer δ, prenons les moments par rapport à la tangente tt' :

$$24,6\ (\delta + TU) = (5,6 + 6,2)\ f + 2 \times 6,4h = 11,8f + 12,8h,$$

mais:

$$h = \frac{\overline{0,66}^2}{\overline{1,98}^2} f = 0,111f,$$

et

$$TU = \frac{\overline{0,048}^2}{\overline{1,98}^2} f = 0,006f.$$

En substituant ces valeurs dans l'équation ci-dessus, on trouve :

$$\delta = \gamma f = 0,536f,$$

mais :

$$\beta = \alpha\gamma = 0,407 \times 0,536 = 0,22;$$

donc :

(3) $$y = 0{,}41Y + 0{,}22F.$$

En faisant les mêmes calculs pour une machine-tender (*Banlieue*, 1891), on trouve :

(4) $$y = 0{,}33Y + 0{,}18F.$$

Si l'on avait déterminé le diagramme des déformations dues à une machine Engerth en plaçant la deuxième roue, par exemple, au-dessus de chaque division de la travée, ce diagramme se trouverait déplacé de $0{,}66 + 0{,}048 = 0^m{,}708$ vers la gauche. Il y aurait donc lieu d'en tenir compte en déplaçant chaque ordonnée y de la même quantité vers la droite.

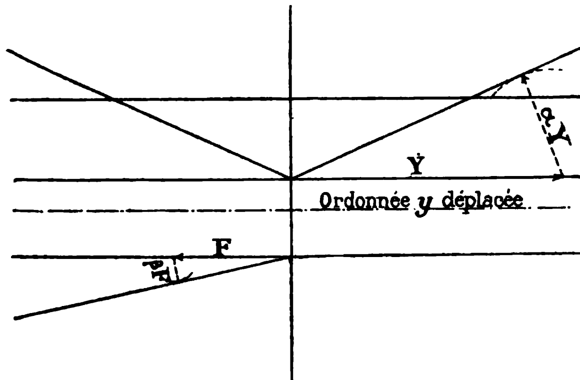


Fig. 5.

La *fig.* 5 donne, dans cette hypothèse, le schéma à établir sur papier transparent. Il correspond à la formule (3) relative à une machine Engerth.

A cette échelle, qui est de 0,005 par mètre, les verticales passant par le milieu et le centre de gravité de la machine se confondent.

Paris, le 15 octobre 1897.

N° 48

Sur les chaussées de ponts en câbles d'aloès

Par M. HERRMANN, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

La construction de chaussées légères et résistantes pour les ponts métalliques est assez difficile à réaliser dès que l'épaisseur du tablier est faible, comme dans la plupart des ponts tournants des ports maritimes.

Sur les ponts à simple voie du port de Cette, où la circulation journalière varie de 600 à 2.000 colliers, les anciennes chaussées des voies charretières sont formées de plateaux en ormeau de $0^{m},04$ d'épaisseur cloués sur des madriers en chêne de $0^{m},08$ à $0^{m},10$ d'équarrissage. L'entretien de ces plateaux est très onéreux : leur remplacement fréquent entraîne une gêne pour la circulation et le clouage des plateaux successifs met, en quelques années, hors d'usage les madriers du sous-platelage.

Dans ces dernières années, les frais d'entretien des platelages en ormeaux ont varié de 4 fr. 75 à 11 francs par mètre carré et par an, dépense qui, ramenée à l'unité de circulation, représente en moyenne 0 fr. 45 par 100 colliers.

Une indication des *Annales des Ponts et Chaussées* (*Notice sur le pont levant de Larrey*, par M. Galliot, 1893), relatant l'emploi de câbles d'aloès pour la construction d'un platelage de pont, a permis d'essayer l'application de ce système aux ponts tournants de Cette, et cet essai a donné des résultats très satisfaisants.

Les câbles employés sont de vieux câbles de mines, dont le prix d'achat à pied d'œuvre a varié de 25 à 31 francs les 100 kilogrammes.

Leur épaisseur reste comprise entre 35 et 50 millimètres, et leur largeur moyenne est de 22 centimètres. On les cloue sur le sous-platelage en chêne, transversalement à l'axe du pont, après avoir eu soin de les goudronner sur leurs deux faces et en les serrant les uns contre les autres ; leurs extrémités butent contre les trottoirs et sont maintenues par des fers plats, ou noyées dans un joint au mortier de ciment, ou encore engagées

sous les longrines de trottoirs. Les chaussées ainsi constituées sont résistantes, élastiques ; elles ne sont pas glissantes, et leur poids n'atteint pas 50 kilogrammes par mètre carré.

Leur construction est assez coûteuse, comme l'indique l'exemple suivant applicable à une surface de 101 mètres carrés.

Achat de câbles : 5.000 kg. à 31 fr. les 100 kg......	1.550f,00
Achat de goudron : 1.240 kg. à 35 fr. les 100 kg....	434 ,00
Achat de clous : 3.000 à 3 fr. le 100	90 ,00
Main-d'œuvre : comprenant le sciage, le goudronnage, le clouage : 29 journées à 4 fr....................	116 ,00
Frais divers	37 ,15
	2.227f,15

soit par mètre carré : 22 fr. 05.

Nos premiers essais remontent au printemps de 1894, et depuis cette époque l'entretien des chaussées en câbles d'aloès n'a donné lieu à aucune dépense.

Les câbles ne présentent aucune trace d'usure, et l'on peut espérer qu'ils dureront de longues années encore.

L'emploi des chaussées en câbles d'aloès paraît donc recommandable et susceptible d'application, même pour des ponts à faible circulation, chaque fois que les circonstances locales permettront une réduction sensible du prix d'achat des câbles.

Cette, le 12 novembre 1897.

BIBLIOGRAPHIE.

N° 49

Les eaux potables et leur rôle hygiénique dans le département de Meurthe-et-Moselle (*)

Par le Dr Ed. IMBEAUX, Ingénieur des Ponts et Chaussées.
Compte rendu par M. GARIEL, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Les travaux des hygiénistes dans ces dernières années ont démontré d'une manière péremptoire l'influence de la nature des eaux d'alimentation sur la santé publique ; cette influence était bien soupçonnée, acceptée même par quelques personnes, mais la preuve n'en avait pas été faite comme elle l'est actuellement. Il faut reconnaître d'ailleurs qu'elle ne pouvait l'être tant qu'on se bornait à l'examen des résultats de l'analyse chimique et que les idées introduites dans la science par Pasteur pouvaient seules permettre d'arriver à une preuve réelle.

Actuellement, lorsque se pose pour une agglomération d'habitants la question de l'alimentation en eau potable, il ne suffit plus de s'assurer si l'on pourra en recueillir une quantité suffisante, ni d'étudier les moyens d'adduction jusqu'aux lieux d'emploi : il est absolument nécessaire d'étudier la qualité des eaux, et cette étude doit être faite tant au point de vue chimique qu'au point de vue microbiologique. Cette idée, qui s'impose cependant, n'est pas encore répandue comme il conviendrait et, par exemple, parmi les nombreux projets d'amenée d'eau qui sont soumis à l'examen du Comité d'Hygiène publique de France, il en est très peu, nous ne dirons pas qui contiennent l'indication des résultats de cette double analyse, mais même dans lesquels on ait recherché autre chose que la facilité de captage et d'adduction.

Aussi, en présence de l'importance de la question, est-il dési-

(*) 1 vol. in-8°, 228 pp. et 1 atlas in-4° de 9 tableaux et 12 pl. Nancy, 1897.

rable de voir se répandre aussi largement que possible la connaissance des conditions essentielles auxquelles doit satisfaire une eau potable et des inconvénients résultant de l'emploi d'une eau de mauvaise qualité.

A ce point de vue déjà, l'ouvrage de M. Imbeaux nous paraît appelé à rendre de réels services par l'étude détaillée qu'il contient de l'influence des eaux potables sur la propagation de certaines maladies dans le département de Meurthe-et-Moselle; il y a là des faits très intéressants qui corroborent, d'une manière générale, les opinions admises aujourd'hui et qui, par l'exemple du passé, montrent toute l'importance du rôle joué par les eaux dans l'extension de plusieurs maladies redoutables.

Le livre de M. Imbeaux serait déjà très recommandable, même s'il ne contenait que la partie dont nous venons de parler.

Mais les autres chapitres, à d'autres points de vue, ne présentent pas un moindre intérêt : il ne suffit pas, en effet, de savoir quelles sont les qualités que doit posséder une eau potable, il faut encore savoir où on pourra se procurer des eaux satisfaisant à ces conditions.

M. Imbeaux a fait, à ce sujet, une étude très complète des eaux de Meurthe-et-Moselle; après avoir décrit les nappes aquifères et les sources du département, il entre dans le détail de l'alimentation des communes et montre que beaucoup de celles qui sont insuffisamment dotées, soit au point de vue de la qualité, soit à celui de la quantité, pourraient trouver des eaux de source donnant toute satisfaction aux exigences de l'hygiène.

Il serait grandement à désirer que l'exemple de M. Imbeaux fût suivi et que l'on pût avoir pour les autres départements de semblables monographies, faisant connaître d'une manière précise la répartition des eaux; cela permettrait aux auteurs de projets d'amenée d'eau, par exemple, d'utiliser des sources dont trop souvent ils ignorent ou feignent de ne pas connaître l'existence, ce qui les conduit à proposer l'emploi, moins coûteux, il est vrai, mais dangereux, d'eaux de puits ou d'eau de rivière.

Le livre que nous analysons pourrait servir de modèle pour de semblables monographies, et, s'il amenait quelques ingénieurs à exécuter des recherches du même genre, son auteur aurait rendu un véritable service.

M. Imbeaux a traité également avec détail la question de la composition des eaux; après avoir indiqué les conditions générales qu'il convient de rechercher et avoir insisté notamment sur l'analyse bactériologique, il a donné dans des tableaux très éten-

dus les résultats des analyses chimiques et bactériologiques des eaux se rapportant à un grand nombre de localités. Cette partie présente surtout un intérêt local ; cependant, on en peut tirer quelques considérations générales sur la composition comparée des eaux de source suivant la nature des terrains auxquels elles appartiennent et des eaux des puits et des rivières.

En résumé, l'ouvrage de M. Imbeaux contient d'importants documents que l'on pourra consulter avec fruit et renferme des chapitres dont la lecture est intéressante et peut contribuer à répandre des connaissances que les ingénieurs doivent posséder aujourd'hui pour pouvoir répondre avec compétence à des questions capitales sur lesquelles ils sont souvent consultés.

N° 50

Distributions d'eau, égouts (*)

Par A. DEBAUVE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Compte rendu par M. LAUNAY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

On sait le rôle important que l'eau joue dans l'hygiène des agglomérations. De tout temps, le besoin de se la procurer s'est fait sentir, et des travaux plus ou moins grandioses ont été exécutés dans ce but. Mais c'est surtout dans la seconde moitié de ce siècle que, sous l'empire des idées de Pasteur et de ses élèves et grâce à la connaissance des infiniment petits qu'ils nous ont révélés, le rôle de l'eau a été mieux défini et plus complètement connu : l'empirisme a fait place à la science. Aujourd'hui, les municipalités comprennent que la protection de la santé humaine est leur premier devoir et que l'aménagement de l'eau doit tenir la première place dans leurs préoccupations.

Le but visé par les hygiénistes est double : d'une part amener aux villes une eau pure, abondante, aussi nécessaire à l'habitant que l'air et la lumière, et, d'autre part, assurer le plus rapidement possible, sans stagnation, l'évacuation des eaux usées, tout en les rendant incapables de nuire à autrui. D'où la nécessité de l'existence simultanée d'une distribution d'eau et d'un réseau d'égouts qui se complètent et doivent se suffire l'un à l'autre.

C'est l'ensemble de cet outillage que M. Debauve s'est proposé d'étudier dans le traité qu'il présente aujourd'hui au public avec un luxe de renseignements et de documents patiemment rassemblés, convenablement coordonnés, qui en rendent la consultation facile et fructueuse.

La première partie, toute théorique, traite de l'écoulement de l'eau par les orifices de tous genres, par les canaux et les tuyaux. Après l'étude mécanique de l'eau vient l'étude physique et chimique, ainsi que l'étude bactériologique.

Après nous avoir appris à distinguer la bonne eau de la mau-

(*) Deux volumes et 1 atlas. Vicq-Dunod, éditeurs.

vaise, l'auteur nous fait connaître les procédés de la filtration et de l'épuration.

Les chapitres suivants sont consacrés : 1° aux eaux superficielles; 2° aux sources; 3° aux eaux souterraines.

Puis, l'auteur décrit les pompes et autres appareils élévatoires avec les moteurs qui les actionnent; un chapitre spécial traite très complètement la question des moteurs à vent.

Dans le second volume, après avoir fait connaître les études préliminaires auxquelles doit donner lieu tout projet de distribution d'eau, l'auteur décrit dans tous leurs détails les appareils de canalisation et de distribution publique et privée; puis il établit une statistique des distributions d'eau en France, où sont réunis les documents concernant l'alimentation de soixante départements et qui constitue un inventaire général de l'outillage des villes en matière de distribution d'eau.

Un dernier chapitre est consacré à l'évacuation des eaux usées, aux égouts, à l'épuration des eaux d'égout et enfin au traitement des ordures ménagères.

Un appendice renferme les tables numériques et les modèles utiles pour les applications pratiques ainsi que quelques considérations sur la législation des eaux.

On juge par cette courte énumération de l'ampleur du programme embrassé par M. Debauve et qu'il a rempli largement avec ce talent de vulgarisateur qu'on a déjà apprécié dans son *Manuel de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées*.

Mais ce qu'il faut louer par-dessus tout dans l'ouvrage, c'est le sens pratique, l'abondance des exemples grands et petits, et surtout la préoccupation constante qui s'y révèle de faciliter la solution de la question de l'assainissement des petites villes et des villages, et d'arriver ainsi à la plus grande diffusion possible des idées fécondes d'hygiène et de salubrité.

Puissent nos jeunes ingénieurs y puiser le goût d'études qui ont peut-être jusqu'ici été trop négligées et qui pourtant ne le cèdent en rien aux autres branches de leur art, par la grandeur des résultats à obtenir et par la variété des moyens à mettre en œuvre pour y atteindre.

Paris, 15 octobre 1897.

COMPTE RENDU DES PÉRIODIQUES

N° 51

PÉRIODIQUES FRANÇAIS.

I. — Sciences appliquées.

Bulletin de la Société d'Encouragement (septembre 1897) : Ch. Frémont. — *Étude expérimentale du cisaillement et du poinçonnage des métaux.* — De très nombreuses figures, phototypies, diagrammes et schémas, illustrent cet important travail, dans lequel l'auteur analyse les déformations et les efforts qui se produisent successivement au cours d'un cisaillement ou d'un poinçonnage (par cisaillement). Il termine son étude en examinant l'emploi du poinçonnage et du cisaillement comme méthode d'essai des métaux, et il arrive à cette conclusion que : *l'ordonnée maximum du diagramme de poinçonnage fournit sur la résistance du métal un renseignement aussi précis que pourrait le donner l'essai à la traction.*

—— (Octobre 1897) : Ch. Frémont. — *Nouvelle méthode d'essai des matériaux.* — Les éprouvettes mesurent $0^m,02$ en longueur, $0^m,01$ en largeur, $0^m,008$ en épaisseur. On les fait porter sur des coussinets demi-cylindriques, et on soumet les unes au pliage et à la rupture, les autres au choc, de manière à mesurer : la ductilité, la ténacité, la fragilité et l'homogénéité.

Le Ciment (15 novembre 1897) : L. Stellet. — *Du calcul des planchers et poutres en ciment armé.* — L'auteur, constatant que l'encastrement des poutres et du hourdis existe en vertu même de la construction, déduit de ce fait que l'hypothèse simpliste généralement acceptée, suivant laquelle le ciment de la zone

supérieure travaillerait seulement à la compression et le tirant métallique inférieur à l'extension, est une hypothèse inadmissible. Par suite de l'encastrement, le tirant supérieur, lui aussi, résiste à l'extension dans la région voisine des appuis et joue par suite un rôle essentiel. Il faut répartir le métal en vue de cet encastrement. On y gagne de mieux résister aux efforts tranchants qui atteignent leur plus grande valeur dans les parties extrêmes de la poutre. L'auteur termine son article par le calcul d'un plancher.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Le Ciment (25 septembre 1897) : *Rapport de la Commission d'enquête de l'Association des fabricants de ciment Portland allemands sur l'influence de l'eau de mer sur les mortiers hydrauliques.* — Deux tableaux donnent les résultats d'expériences faites en 1894 et 1896 sur les résistances à la traction et à la compression de mortiers de ciment de Portland, de composition variable, immergés dans l'eau douce ou dans l'eau de mer. Les proportions de sable varient en poids de 1 à 4 pour 1 de ciment. Dans quelques échantillons on a ajouté au mélange 1/4 d'hydrate de chaux en pâte.

Ces derniers échantillons ont été attaqués par l'eau de mer, tandis que les autres ont bien résisté. Les mortiers de ciment de Portland immergés dans l'eau douce acquièrent une résistance notablement supérieure à celle des mortiers immergés dans l'eau de mer, surtout après un an de prise. Les chiffres obtenus pour la résistance à la rupture par centimètre carré ont été, après deux ans de prise, pour du mortier à 1 de sable, pour 1 de ciment, en poids : dans l'eau douce, à la traction, 60 kilogrammes, et à la compression, 640 kilogrammes ; dans l'eau de mer, à la traction, 42 à 52 kilogrammes, et à la compression, 540 kilogrammes.

Revue industrielle (2 octobre 1897) : *Nouveau procédé de fondation dans les terrains compressibles (procédé Dulac).* — M. Dulac se sert d'une sonnette avec treuil à vapeur et de pilons très lourds. Quand on peut se contenter d'un battage superficiel, on use du pilon *bourreur* affectant la forme d'un obus et pesant 1.000 kilogrammes. On pratique avec ce pilon une cavité

de $1^m,50$ à 2 mètres de profondeur; on y jette des matériaux durs, moellons, mâchefer, briques, que les chocs du même pilon, continués jusqu'au refus, refoulent en profondeur et latéralement. Ces battages, exécutés de mètre en mètre ou à des distances plus grandes, créent un sol compact, d'une résistance uniforme, sur lequel on peut fonder.

S'il faut descendre jusqu'au bon sol à travers des couches compressibles, on emploie le *pilon perforateur*, pesant 1.500 kilogrammes, de forme conique, avec la pointe (en acier) tournée vers le bas. Grâce à son poids, à sa forme allongée et à sa grande hauteur de chute, ce pilon peut percer des remblais de plus de 16 mètres de hauteur, à raison de 2 mètres par heure. On forme ainsi des puits de $0^m,80$ de diamètre, dont les parois, fortement comprimées, sont résistantes et même étanches. On remplit les puits de béton par couches de $0^m,40$ à $0^m,50$, dont chacune est tassée par un ou deux coups du pilon bourreur.

Ce procédé, d'invention toute récente, a déjà reçu plusieurs applications; on l'a employé notamment pour les fondations des bâtiments d'administration de l'Exposition de 1900, à l'angle du quai d'Orsay et de l'avenue Rapp. Son usage paraît indiqué dans les terrains vaseux, les sables boulants ou les remblais.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Le Génie civil (4 septembre 1897) : E. Laye. — *Pont Lépine sur la tranchée du chemin de fer du Nord à Paris.* — Le pont Lépine, construit sur la tranchée du chemin de fer du Nord pour relier la rue de la Chapelle à la rue Stephenson, se compose de deux poutres de tête espacées de 15 mètres d'axe en axe, mesurant $43^m,905$ et $43^m,240$ de longueur totale (les culées ne sont pas parallèles). Ces poutres, à grands croisillons et à semelle supérieure parabolique, mesurent $5^m,50$ de hauteur au milieu et $3^m,09$ à $3^m,34$ aux extrémités. Le poids total du tablier, exécuté en acier doux, est de 399.000 kilogrammes. Ce tablier, entièrement construit à terre, a été lancé au moyen d'un avant-bec métallique, à treillis, de $26^m,75$ de longueur, pesant 50.000 kilogrammes. L'opération a été faite les 23 et 24 août 1897.

—— (11 septembre 1897) : A. Dumas. — *Le pont Alexandre III sur la Seine ; caissons de la fondation.* — Chaque caisson mesure

44 mètres de longueur (parallèlement à la rivière), 33m,50 de largeur, 1.474 mètres superficiels et 3m,68 de hauteur. Les parois verticales sont en tôles de 6 millimètres. Sur la hauteur, à 1m,90 au-dessus du pied, est un plafond horizontal, limitant la chambre de travail. Il est formé par des tôles de 5 millimètres, soutenues par deux systèmes de poutres à angle droit l'un sur l'autre. Le premier système se compose de quatre cloisons transversales à treillis, espacées de 9m,60 d'axe en axe, ayant même hauteur que la chambre de travail. Le deuxième système, établi au-dessus du plafond, se compose de vingt-sept poutres à treillis, espacées de 1m,92 d'axe en axe, mesurant 1m,610 de hauteur. Des hausses métalliques forment batardeau au-dessus du caisson. Dix cheminées font communiquer la chambre de travail avec l'intérieur. L'extraction des déblais se fait d'abord très simplement en versant ces déblais, amenés par des wagonnets, au bord du caisson, dans le lit de la rivière où on les reprend avec une drague.

Le Génie civil (25 septembre 1897) : *Le pont de la Tour à Londres. — Description de la partie mobile de l'ouvrage et de la machinerie.* — La limite d'élasticité de l'acier fondu employé dans les pièces essentielles correspond à un effort de 4.250 kilogrammes par centimètre carré.

L'effort maximum auquel peuvent être soumises les pièces les plus chargées n'atteint pas 1.000 kilogrammes par centimètre carré.

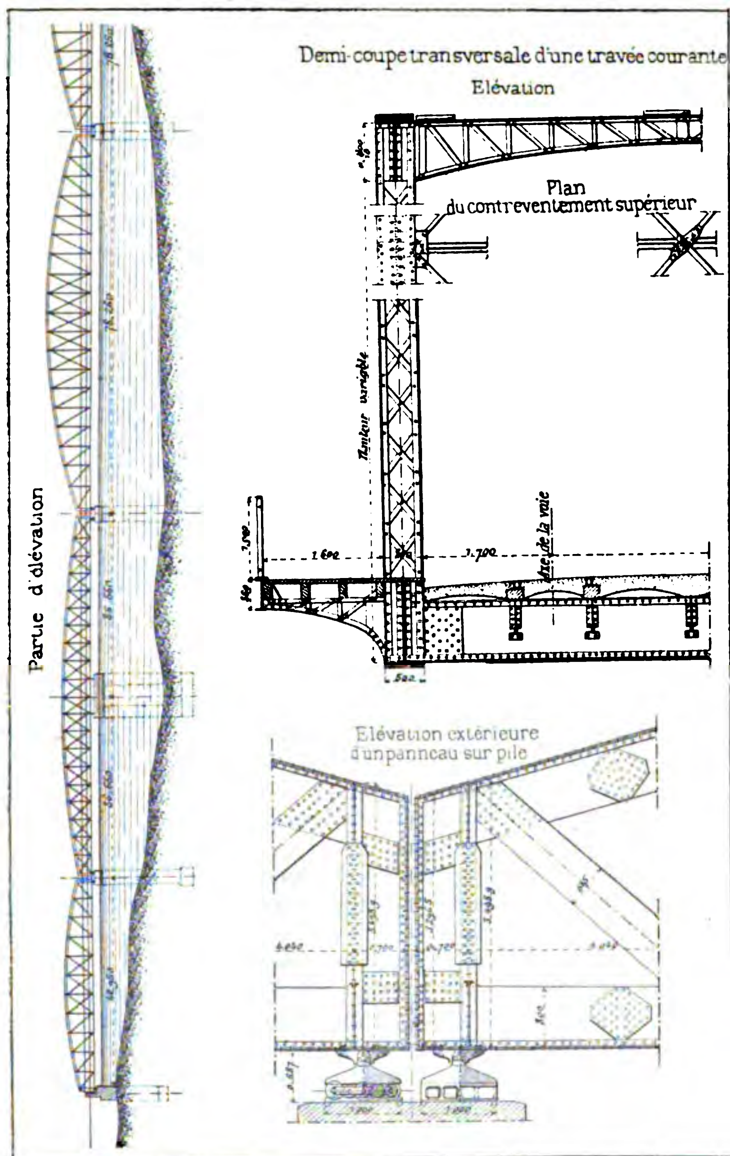
Le prix total de l'ouvrage s'est élevé à 22.562.500 francs.

Le nombre moyen journalier des véhicules passant sur le pont est de 8.000; celui des piétons, de 60.000.

Les bascules de la travée centrale ont été relevées en moyenne dix-sept fois par jour. Le temps d'arrêt moyen dans la circulation occasionné par chaque levée a été de six minutes. Ces interruptions dans la communication ont été si peu importantes qu'on n'a point ouvert au public l'accès des ascenseurs. L'usage de ceux-ci prendrait plus de temps que n'en fait perdre l'arrêt causé par la manœuvre des bascules.

—— (23 octobre 1897) : A. Dumas. — *Le nouveau pont Faidherbe à Saint-Louis (Sénégal).* — Ce pont remplace un pont en bois, construit en 1865, par le général Faidherbe, sur ses propres dessins, pour relier la ville de Saint-Louis au continent. La construction du nouveau pont, mise au concours, fut attribuée

Le nouveau pont Faidherbe, à Saint-Louis (Sénégal).



le 7 mai 1894 à MM. Nouguier, Kessler et Cie, au prix forfaitaire de 1.880.000 francs, moyennant un délai d'exécution de trois ans, avec prime de 200 francs par jour d'avance et amende de 200 francs par jour de retard.

Le pont, établi sur le grand bras du Sénégal, pour livrer passage aux piétons, aux voitures et à un chemin de fer à voie de 1 mètre, mesure 7 mètres de largeur entre les poutres et porte deux trottoirs extérieurs de 1m,60 de saillie.

En partant de la culée Saint-Louis, le nouveau pont, dont la longueur totale est de 508m,30, se compose : d'une travée de 42m,90 ; d'un pont tournant à double volée d'une longueur, entre appuis extrêmes, de 71m,50, laissant la navigation, de part et d'autre de la pile centrale, des passages libres de 30 mètres; enfin de cinq travées de 77 mètres de portée.

Les piles et culées, construites en maçonnerie, ont été fondées à l'air comprimé sur caissons métalliques, sauf la culée côté Sor, fondée sur pilotis.

Les tabliers sont entièrement en acier doux laminé provenant des aciéries de Longwy.

Chacune des cinq grandes travées se compose de deux parties principales en treillis, du système en N, longues de 78 mètres, hautes, au milieu, de 9 mètres et, aux extrémités, de 3m,50, avec semelle inférieure rectiligne et semelle supérieure parabolique. Ces poutres sont reliées à leur pied par des entretoises écartées d'axe en axe de 4m,04 et placées au droit des montants verticaux. Ces entretoises sont elles-mêmes reliées l'une à l'autre par cinq cours de longerons : deux à l'aplomb des rails, du côté aval ; deux symétriques de ceux-ci, du côté amont ; le cinquième dans l'axe.

Les poutres sont contreventées à leur partie supérieure partout où la hauteur l'a permis.

La petite travée est composée comme les grandes ; elle mesure 42m,90 de longueur, 6m,20 de hauteur au milieu et 3m,40 aux extrémités.

Les poutres du pont tournant sont semblables aux précédentes, sauf que le treillis est à croix de Saint-André. Elles ont 71m,50 de long, 6m,20 de hauteur au milieu et 3m,30 aux extrémités. Ce pont tourne autour d'un pivot central en roulant sur trente-six galets de 0m,40 de diamètre. On le cale au moyen de verrins à vis. Les manœuvres de décalage et de rotation se font à bras au moyen d'un treuil à manivelle actionnant des arbres et des engrenages.

Des modifications au projet primitif ont porté le prix de l'ouvrage à 1.950.000 francs, soit, par mètre courant, 3.826 francs.

Le poids total du métal employé est de 2.060.285 tonnes.

Les travaux ont été achevés un mois et demi avant le terme fixé par le contrat.

L'inauguration a eu lieu le 19 octobre 1897, en présence de M. Lebon, ministre des Colonies.

Le Génie civil (20 et 27 novembre 1897) : *Concours des Poids lourds organisé par l'Automobile-Club de France. Rapport de la Commission.* — Ce rapport, très développé, très circonstancié, donne la description, illustrée par de nombreux dessins, des divers véhicules éprouvés : véhicules automoteurs ; véhicules à bogie moteur; véhicules automoteurs en remorquant d'autres. Un tableau récapitulatif donne, pour les divers véhicules, les prix de revient kilométriques du transport des voyageurs avec ou sans bagages, de 100 kilogrammes de messageries et de la tonne de marchandises.

IV. — Navigation intérieure.

Le Génie civil (18 septembre 1897) : G. Richou. — *Rupture des deux barrages de Melzingah* (État de New-York). — Les deux barrages superposés de Melzingah, destinés à alimenter en eau potable les petites villes de Tishkill et de Matteawan et renfermant : celui d'amont 40.000 mètres cubes, et celui d'aval 32.000 mètres cubes, se composaient d'un mur central en maçonnerie, formant écran, protégé des deux côtés par des remblais. Le barrage d'amont avait 102 mètres de long et fournissait une retenue de $8^m,40$. Le barrage d'amont avait 120 mètres de long et $10^m,20$ de hauteur. L'épaisseur des murs établis sur le sol, sans aucun encastrement, ne dépassait pas $0^m,90$ à la base et $0^m,30$ au sommet. Le seuil des déversoirs n'était arrasé qu'à $0^m,45$ et même $0^m,35$ au-dessous de la crête des barrages. Les remblais n'avaient été ni pilonnés, ni disposés par couches régulières. On n'avait même pas enlevé les troncs d'arbre dans l'emplacement du barrage. Il est surprenant que des ouvrages aussi mal construits aient subsisté une dizaine d'années.

La catastrophe est survenue dans la matinée du 14 juillet,

à la suite de pluies extraordinaires. L'eau dépassant la crète du réservoir d'amont a corrodé et partiellement emporté le remblai soutenant le mur central. Celui-ci a cédé, livrant passage à une vague énorme, qui a emporté le barrage d'aval et causé plus loin, outre des dégâts considérables, la mort de sept personnes. Cet accident démontre une fois de plus la nécessité de donner au déversoir un débouché suffisant, sans parler de celle d'apporter à la construction tous les soins possibles.

Le Génie civil (23 octobre 1897) : *Nouveau procédé pour la défense des rives contre la corrosion des eaux.* — Ce procédé, imaginé par M. Villa et appliqué avec succès en Italie depuis quelques années, consiste à défendre la berge attaquée en la soustrayant à l'action de l'eau au moyen d'un masque adhérent et flexible,

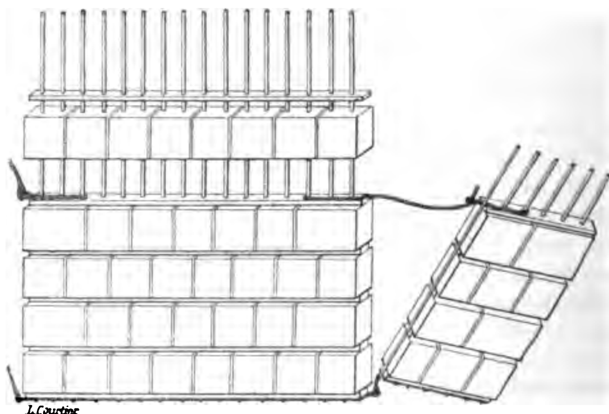


Fig. 1.

jouant le même rôle qu'une bâche étendue sur un tas de sable que le vent menace d'entraîner. Ce masque est une sorte de tissu dont la chaîne se compose de solides fils de fer galvanisés et dont la trame est formée de grosses briques comprimées à la machine pesant 10 kilogrammes pièce et qui sont traversées par les fils de fer. Cette couverture s'exécute sur le lieu d'emploi par portions de 5 à 8 mètres qu'on relie ensemble, comme l'indique la figure ci-dessus. On l'applique sur la rive attaquée en se servant d'un bateau, et on lui fait dépasser d'environ 1 mètre le niveau

des hautes eaux. On l'ancre solidement dans le sol à son extrémité supérieure. Sa flexibilité lui permet d'épouser toutes les sinuosités du lit. Le courant, glissant à la surface, devient

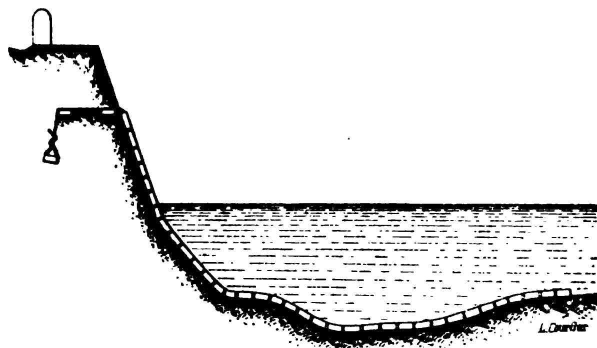


FIG. 2.

inoffensif. Ce système de défense offre l'avantage d'une exécution très rapide. On peut donc, en tenant des matériaux en réserve, l'appliquer promptement sur les points où la berge est menacée. La dépense est relativement peu élevée.

Nouvelles Annales de la Construction (novembre 1897) : L. LEFORT. — *Ponts-canaux métalliques. Raccords ou joints des bâches avec les maçonneries des culées.* — L'auteur décrit deux systèmes en usage : le *joint à étoupes* qu'il a appliqué au pont-canal sur l'Oise du canal de l'Aisne à l'Oise et le *joint en caoutchouc* qu'il a appliqué au pont-canal sur l'Aisne de la même voie navigable. Il indique les précautions à prendre et les perfectionnements à apporter. L'expérience a fait reconnaître la supériorité du joint en caoutchouc, employé depuis au pont-canal de Briare sur la Loire.

V. — TRAVAUX MARITIMES.

Le Génie civil (18 septembre 1897) : A. DUMAS. — *Les grues électriques du port du Havre.* — Une première série d'essais a été faite, en juin et juillet 1894, pour comparer entre elles, au

point de vue de la manœuvre de la grue, les différentes espèces de dynamos. Les machines en série ont été reconnues les meilleures. Un concours au second degré a déterminé le choix d'un type. Les essais en ayant été favorables, trois autres grues, en construction sur le quai Colbert, furent actionnées de la même façon. Cinq grues à vapeur fonctionnaient sur le même quai depuis plusieurs années. La comparaison des deux systèmes a porté la Chambre de Commerce du Havre à donner la préférence à l'électricité.

Le Génie civil (16 octobre 1897): *Dock flottant de Saint-Paul-de-Loanda.* — Ce dock est construit en acier. Il se compose de deux caissons latéraux reliés et supportés par six pontons indépendants, que l'on peut isoler à volonté pour les radouber et les réparer. Si les besoins de la navigation l'exigeaient, le dock pourrait être allongé et sa capacité pourrait être augmentée de 16 ou 32 0/0 par l'apposition de pontons additionnels.

La longueur du dock est de 61 mètres, et sa largeur intérieure de 15 mètres. Les caissons latéraux mesurent 3 mètres de longueur en bas, $2^m,50$ en haut et $6^m,81$ de hauteur. Chaque caisson est divisé par des cloisons verticales en quatre compartiments étanches. Les pontons mesurent $21^m,40$ de longueur, $9^m,90$ de largeur, $2^m,80$ de hauteur sur l'axe et $2^m,50$ sur les faces extérieures. Chaque ponton est divisé, par une cloison verticale étanche, en deux compartiments d'égale capacité.

L'épuisement se fait au moyen de deux pompes centrifuges à action directe placées dans les caissons.

Sur le plancher formé par le dessus des pontons sont fixées cinquante-cinq pièces de bois en chêne et en pitchpin formant fausses quilles.

—— (30 octobre 1897): G. Renel. — *Ferry-boats employés en Danemark.* — Les trois détroits du Petit-Belt, du Grand-Belt et du Sund, qui séparent la presqu'île du Danemark de la Suède, étant trop larges pour être franchis à l'aide de ponts ou de tunnels sous-marins, on a fait usage de ferry-boats, successivement établis en 1883, 1891 et 1895, pour permettre aux trains à voie normale de passer sans rompre charge, du continent en Suède et en Norvège.

Les navires employés, symétriques par rapport au plan transversal médian, sont à double gouvernail et à double hélice. Ils sont de deux types ; les plus petits, mesurant 53 mètres de

longueur, avec voie unique sur le pont, peuvent porter six wagons à marchandises chargés à 10 tonnes; les plus grands, mesurant 82 mètres de longueur, avec double voie, peuvent recevoir dix wagons à marchandises chargés à 10 tonnes.

Le navire se loge exactement dans l'embarcadère, et le train y accède par un pont mobile en fer de $17^{m},70$ de longueur, articulé sur le rivage et qui s'ajuste sur la proue du navire par l'autre extrémité.

Revue technique (25 septembre 1897) : J. Prouteau. — *Bigue de 80 tonnes du port de Bordeaux.* — Sur les nouveaux quais ont été installées sept grues de 1.500 kilogrammes, deux de 3.000 et une de 10.000. On y installe la bigue de 80 tonnes. Tous ces engins sont actionnés par l'eau sous pression.

La bigue de 80 tonnes se compose de trois bigues en tôle et cornières formant un trépied susceptible de s'incliner de manière à prendre la charge à 9 mètres en dehors du quai et à la ramener à 4 mètres en arrière. Les mouvements de levage de la charge et d'oscillation du trépied s'obtiennent au moyen de cylindres à action directe.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Revue générale des Chemins de fer (septembre 1897) : *Les chemins de fer du globe en* 1895. — Tableau donnant par pays et pour chacune des cinq parties du globe, de 1892 à 1896, le développement du réseau ferré, avec la proportion des longueurs des lignes à la superficie et à la population de chaque pays.

Le pays où la longueur du réseau ferré, rapporté à la superficie, est le plus considérable est la Belgique avec $18^{km},8$ de voie pour 100 kilomètres carrés.

Le pays où la longueur du réseau ferré rapportée au nombre des habitants est la plus considérable est l'Australie occidentale avec $225^{km},6$ de voie pour 10.000 habitants (en France, le chiffre est de $10^{km},4$).

—— (Septembre 1897) : A. Mathieu. — *Note sur les installations de la gare du Bourget-Triage.* — La gare du Bourget-Triage est à peu près du même type que la gare du triage de Condren. Elle comprend : 1° un groupe de treize voies, pour le garage et la formation des trains, relié par les deux bouts aux voies prin-

cipales (Paris et Soissons) et commandé par des voies de tiroir ;

2° Un groupe de triage par la gravité de vingt-deux voies, en relation avec les voies principales au moyen d'une voie d'accès, faiblement déclive, qui permet de faire entrer directement les trains de marchandise sur les voies de débranchement en pente (au nombre de quatre), et qui communique par une voie latérale avec le groupe de garage et de formation.

Le mouvement journalier total de la gare du Bourget-Triage varie de 2.600 à 3.600 wagons.

Cette gare est surtout intéressante par les dispositions relatives au transbordement des marchandises en détail, dont l'importance est considérable (en 1894, 69.352 wagons transbordés représentant 213.663 tonnes et 2.765.070 colis).

La halle de transbordement, mesurant 176 mètres de longueur sur 23 de largeur, est traversée en longueur par quatre voies, deux de déchargement et deux de chargement, associées deux à deux, permettant de décharger à la fois 50 wagons et d'en recharger le même nombre. Le transbordement des colis se fait à bras d'homme, directement de wagon à wagon. Ces colis ne séjournent pas sur les quais, qui font seulement office de chemins de roulement. Des dispositions particulières relatives au mode de transmission des colis assurent la régularité et la promptitude du service.

Revue générale des Chemins de fer (septembre 1897) : SALOMON. — *Essais comparatifs de traction entre la machine compound de la Compagnie du Midi n°* 1.760 *et les machines de la Compagnie de l'Est de la série* 800. — Les deux types comparés sont à bogies et à deux essieux couplés, avec grandes roues.

La machine du Midi est une compound à quatre cylindres, avec double mécanisme et deux essieux moteurs, dont un coudé. Sa surface de chauffe est de 174 mètres carrés ; elle pèse en charge $53^{T},330$.

Les machines Est sont à détente unique, à deux cylindres extérieurs, par suite à un seul essieu moteur droit ; leur surface de chauffe est de $160^{m2},27$; elles pèsent en charge $56^{T},766$.

Des essais comparatifs effectués du 3 décembre 1896 au 2 février 1897 ont été faits : 1° avec charge ordinaire ; 2° avec charge renforcée ; 3° avec le wagon dynamomètre.

Les conclusions à tirer de ces essais sont les suivantes :

La machine du Midi présente les avantages ci-après:

Économie de combustible (5 à 12 0/0);

Économie dans la dépense d'eau (8 à 9 0/0);

Conduite plus facile, surtout quand la locomotive doit développer toute sa puissance

Démarrages plus rapides et plus faciles;

Patinages évités ou du moins rendus très rares;

Possibilité de marcher avec un seul des deux mécanismes, si l'autre est avarié.

Par contre, la machine de l'Est est plus avantageuse au point de vue:

De la dépense de premier établissement;

Des frais d'entretien.

Si, de part et d'autre, on chiffre en argent les économies réalisables, on reconnaît que la machine de l'Est procure une économie de 0 fr. 00078 par kilomètre, soit 70 fr. 20 par an.

En définitive, la disposition compound à 4 cylindres paraît s'imposer dans les cas où l'on demande le maximum de puissance de traction à une locomotive dont la chaudière est de poids et de dimensions strictement limités.

Revue générale des Chemins de fer (octobre 1897): *La voie et la crémaillère du chemin de fer de la Jungfrau.* — Le chemin de fer de la Jungfrau comporte deux sections: la première, à ciel ouvert, de 2.036 mètres de longueur, de la Scheidegg au glacier de l'Eiger, avec des déclivités de 12,6 0/0 au maximum. Dans la deuxième section, 1.789 mètres, soit 87 0/0 de la longueur totale, sont en rampe de 25 0/0 et 1.622 mètres sont en tunnel.

Les trains seront formés d'une voiture automotrice à trente places pesant 15.000 kilogrammes et d'une voiture annexe à cinquante places pesant 5.400 kilogrammes, ce qui donnera un poids total (voyageurs compris) de 26 tonnes.

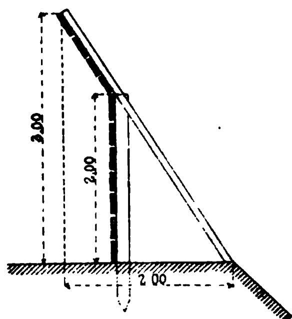
La voie de 1 mètre de largeur est formée de rails Vignole en acier de $10^{m},50$ de longueur pesant $20^{kg},6$ par mètre courant, appuyés chacun sur douze traverses métalliques à section trapézoïdale, mesurant $1^{m},80$ de longueur et pesant 37 kilogrammes.

Sur ces traverses, dans l'axe de la voie, est fixée la crémaillère au moyen d'attaches identiques à celles des rails. Cette crémaillère est formée de tronçons d'une seule pièce, ayant cha-

cun 3^{m},50 de longueur. Les dents sont façonnées à froid avec la machine à forer, la scie et la fraise.

Toute la superstructure ne comporte qu'un seul modèle d'écrou. Elle pèse 127 kilogrammes par mètre courant.

Revue générale des Chemins de fer (octobre 1897) : MORARD. — *Note sur une application des paraneiges faite par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.* — Trois systèmes de paraneiges ; un russe, un anglais et un danois, ont été essayés dans le Jura en vue d'empêcher les tranchées d'être comblées par la neige.



Le paraneige danois décrit par la *Revue* dans son numéro d'août 1887 a donné, avec un exhaussement de 1 mètre (3 mètres au lieu de 2), d'excellents résultats. Il n'occupe qu'une faible largeur et résiste aux vents les plus violents.

—— (Novembre 1897): *Récents perfectionnements des locomotives américaines* (extrait de l'ouvrage *Modern Locomotives*, publié par la *Railroad Gazette*). — Les perfectionnements les plus importants apportés récemment aux locomotives américaines concernent la chaudière, les cylindres, les pistons, les roues motrices, les têtes de piston, la surface de la grille, la pression effective de la vapeur, les appareils de la boîte à fumée et le tender. Ces perfectionnements sont successivement analysés.

—— (Novembre 1897) : *Grands parcours sans arrêt des trains anglais.* — Soixante-huit trains, circulant sur huit réseaux, effectuent des parcours sans arrêts supérieurs à 100 milles anglais (160 kilomètres). Le parcours le plus remarquable est celui effectué sur le « Great Western Railway », de Londres à Exeter (312^{km},3), en trois heures quarante-trois minutes, avec une vitesse de 85^{km},9 à l'heure.

Revue technique (10 septembre 1897) : *Informations.* — *La solution du problème de l'équilibre des masses dans les locomotives.* — On vient de terminer, à l'Université de Purdue, une série d'expé-

riences des plus intéressantes sur l'équilibre des masses en mouvement dans les locomotives. La Commission de l'Université a établi, en constatant l'écrasement uniforme ou inégal de fils de fer disposés sous les roues motrices, qu'avec une machine à quatre cylindres, à manivelles calées deux à deux à 180°, on pouvait supprimer à peu près les mouvements de galop et de lacet déterminés par le défaut d'équilibre des masses en mouvement.

Revue technique (25 octobre 1897) : *Les chemins de fer électriques du Salèvre.* — Ces chemins de fer, mis en exploitation en 1893, sont les premiers chemins de fer de montagne, utilisant la crémaillère, dont la force motrice ait été fournie par l'électricité. — La différence de niveau à racheter est d'environ 900 mètres sur un parcours de 6 kilomètres. La rampe maximum atteint 25 0/0. Le rayon minimum des courbes est de 50 mètres. La voie est de 1 mètre avec rails Vignole et traverses métalliques. Elle est utilisée comme conducteur de retour pour le courant, qui est porté le long de la voie par un rail de même type que les rails porteurs, mais retourné la face plane en dessus, avec lequel l'un au moins des deux frotteurs portés par la voiture se trouve en contact. Les dynamos, du système Thury, sont actionnées par des turbines à axe vertical du système Jonval.

La dépense de traction par kilomètres-trains est seulement de 0 fr. 66, alors que pour les lignes de montagnes à traction à vapeur il s'élève au moins à 1 fr. 70.

—— (10 novembre 1897) : P. Crépy. — *Le monorail portatif à niveau du sol, système Caillet.* — Le rail unique, à patin, de petit calibre (4, 5 à 12 kilogrammes par mètre courant), est porté par des traverses métalliques disposées en échelle de perroquet. La voie se pose directement sur le sol, sans terrassement ni ballast. Elle est utilisable dans tout sentier où peut passer un homme chargé. Il en existe divers types à employer selon les circonstances.

On en a fait de nombreuses applications en France, en Hongrie, en Espagne, en Russie, en Perse, au Japon, au Brésil, à Java, en Égypte. C'est surtout dans les pays non civilisés que le monorail peut rendre de grands services, à raison du faible prix de revient, de la facilité de la pose et de l'exploitation. Il est employé en Tunisie, au Dahomey, à Madagascar, en Annam. On va s'en servir en Éthiopie.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Bulletin de la Société d'Encouragement (octobre 1897) : Ronna. — *Les égouts de Rome.* — L'auteur divise son étude en trois périodes : Rome ancienne; Rome après l'Empire et sous les papes ; Rome depuis 1870. Les égouts de la Rome ancienne étaient célèbres. *Trois choses*, a dit Denys d'Halicarnasse, *relèvent la magnificence de Rome : les aqueducs, les routes et les cloaques.* Au moyen âge, faute d'entretien, les égouts se dégradèrent et s'obstruèrent, au grand dommage de la santé publique; la population se réduisit à trente-cinq mille habitants. A partir du xvie siècle, les Papes entreprirent d'importants travaux de curage et de réfection. De grands égouts furent construits sur les deux rives du Tibre. Au commencement du siècle, le système d'égouts de Rome pouvait être proposé pour modèle aux plus grandes capitales. Il restait néanmoins beaucoup à perfectionner, notamment pour assurer l'écoulement des eaux. On y travaille, depuis 1871, par l'abaissement des eaux du Tibre et par l'établissement d'émissaires collecteurs dégorgeant les eaux d'égout à 10 kilomètres en aval de la ville.

Le Génie civil (9 octobre 1897) : *De l'application du « Tout à l'Égout ».* — Cet article, après avoir rappelé sommairement les avantages hygiéniques du « Tout à l'Égout » par rapport aux fosses fixes et aux tinettes filtrantes, décrit l'écoulement direct à l'égout : 1° dans une maison neuve ; 2° dans une maison ancienne, avec tolérance des appareils de cabinets d'aisance en service.

VIII. — Machines.

Revue industrielle (30 octobre 1879) : P. Chevillard. — *Mécanisme d'enclenchement à grande vitesse pour distributeurs Corliss* (*sytème David*). — Ce nouveau mécanisme permet de réaliser de grandes vitesses dans d'excellentes conditions de marche : aux allures rapides, le fonctionnement en est absolument silencieux.

F. D.

IX. — Électricité appliquée.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens (août-octobre 1897) : Anonyme. — *Règlements relatifs à la sécurité des installations électriques en usage dans les pays étrangers.* — Reproduction des règlements en usage dans différents pays étrangers pour les installations électriques industrielles.

Éclairage électrique (25 septembre 1897) : E. Wilson. — *Les dimensions, poids et prix des dynamos.* — Court extrait d'une communication faite par l'auteur à l'Association des Ingénieurs électriciens de Londres.

— (2 octobre 1897) : Anonyme. — *Chemin de fer électrique de la Jungfrau.* — Courtes considérations résumées d'après un article de M. Strub, auteur du projet classé premier : rendement prévu, capital engagé, stations génératrice et de transformation, trains, différents genres de freins.

— (2 octobre 1897) : Anonyme. — *Les fiacres électriques à Londres.* — Résumé d'un article de *Industries and Iron*, composition de l'équipement, différents groupements des induits et inducteurs, stations de charge.

— (2 octobre 1897) : F. Guilbert. — *Machines dynamo-électriques.* — Études des récents perfectionnements apportés aux dynamos tirés des brevets anglais : nouvel alternateur Siemens, compensateur de réaction d'induit Ferranti, moteur W.-E. Gray, procédé de compoundage Sayers.

— (2 octobre 1897) : H.-S. Hering. — *Ce que coûtent les arrêts et les démarrages des voitures de tramways.* — Analyse d'un article de l'auteur paru dans l'*American Electrician ;* l'économie qu'on peut réaliser par des démarrages et des arrêts faits par un personnel bien entraîné est au minimum de 10 0/0 de la dépense totale de courant.

— (9 octobre 1897) : S. Hanappe. — *Installation à courants diphasés du laboratoire de l'École spéciale de Mons.* — Description, étude et résultats d'essais d'une génératrice bipolaire à courants alternatifs diphasés.

— (9 et 16 octobre 1897) : G. Richard. — *Applications mécaniques de l'électricité.* — Analyse d'une série de brevets anglais : commutateurs pneumatiques Priest et Merrick, commutateurs Dairs et Morgan, mise en train Pieper, pointeur Greenough, mise en feu Obry, remise à l'heure Gerry, remise à l'heure Crooke.

Éclairage électrique (16 octobre 1897) : ANONYME. — *Emploi de l'électro-aimant comme appareil de levage dans les ateliers de laminage de la « Illinois Steel C° ».* — Résumé d'un article de l'*Electrical Engineer* de New-York.

—— (16 octobre 1897) : ANONYME. — *Tramways souterrains de Boston.* — Extrait d'un article de l'*Electrical World* de New-York signalé plus loin (Voy. *Périodiques anglais*, p. 292).

—— (23 octobre 1897) : ANONYME. — *Station centrale hydraulique de Colombus.* — Résumé d'un article de M. W.-E. Boileau dans *The Electrical World*, sur la nouvelle station génératrice de Colombus, sur la Chattahvochee River (Voy. 1er trimestre, *Périodiques anglais*).

—— (23 octobre 1897) : C.-E.-L. BROWN et J.-L. ROUTIN. — *Considérations générales sur les tarifs de vente de l'énergie électrique.* — Études expérimentales des principaux systèmes de compteurs actuellement en usage. Conclusions.

—— (23 octobre 1897) : FISCHER-HINNEN. — *Influence de la chute de tension dans le calcul des alternateurs.* — Généralisation de la méthode connue de Behn-Eschenburg; cet article contient de nombreux résultats pratiques tirés de machines existantes, ainsi que des formules simples et de nombreux tableaux pour le calcul des dimensions des machines à courants alternatifs.

—— (23 octobre 1897) : A.-P. TROTTER. — *Perturbations des transmissions télégraghiques sous-marines par les tramways électriques.* — Extrait d'une communication faite aux Ingénieurs électriciens de Londres sur les perturbations apportées par l'installation des tramways électriques de Cape-Town sur les transmissions télégraphiques, emploi d'un câble auxiliaire pour amoindrir les effets d'induction (Voy., pour plus de détails, *Périodiques allemands*).

—— (30 octobre 1897) : G. RICHARD. — *Lampes à incandescence.* — Récents progrès dans les lampes à incandescence, nouvelles lampes Swan et Edison Swan, lampes Germer et Huller, filaments Estrade, abat-jour Benham et Smith, diffuseur Cooper, lampe de vélocipède Burnet, lampe portative de l'Electric Portable Lamp C°, lampe de mineur Headland, machine à souder, lampes Lean et Massy.

—— (6 novembre 1897) : ANONYME. —*Dépense d'énergie des ascenseurs et monte-charge électriques.* — Courte analyse d'un récent article de M. R. Bishop dans l'*Electrical World* sur l'application de l'électricité dans les imprimeries.

Éclairage électrique (6 novembre 1897) : ANONYME. — *Sur les ascenseurs électriques.* — Résumé d'un article de M. Woodbrige déjà signalé (Voy. 3e trimestre, *Périodiques anglais*, p. 419).

— (6 novembre 1897) : ANONYME. — *Élévateur de grains, à courants alternatifs triphasés.* — Description résumée d'un article de l'*Electrical Rewiew* de Londres de l'installation de la Grain Storage Company sur les quais d'Alexandre Dock à Liverpool.

— (6 novembre 1897) : BARTEL TROMIEU. — *Les voitures automobiles dans les chemins de fer.* — Résumé des expériences faites récemment par la Compagnie des chemins de fer du Nord sur des voitures automobiles pour le transport des dépêches postales ou celui des voyageurs, en vue de faciliter le remplacement des trains-tramways.

— (6 novembre 1897) : F. GUILBERT. — *Machines dynamo-électriques.* — Étude de quelques récents brevets anglais, moteur Scott et New, turbine-dynamo Fischer et Held, moteur à courant alternatif à encoches hélicoïdales, dynamo Willem Smit et Cie, régulateur de vitesse Consett, moteur Atktinson pour mines, dynamo à deux induits Knowles.

— (13 novembre 1897) : CH. JACQUIN. — *Les nouvelles locomotives électriques Heilmann.* — Description très complète et bien illustrée des nouvelles locomotives Heilmann.

— (13 novembre 1897) : J. PELLISSIER. — *Chemins de fer et tramways électriques.* — Étude des brevets étrangers sur les perfectionnements du matériel roulant : souffleur électromagnétique pour régulateur E.-C. Parham, régulateur de vitesse Parshall, frein magnétique de l' « Union Elekricitats Gesellschaft », tramway électrique auto-générateur Patten, voiture Nash.

Analyse de quelques récents brevets anglais relatifs aux distributions de l'énergie : croisement Snell, Grove et Hills, distribution Lachmann, tramway Max Déri, distribution Meacock, canalisation souterraine Stendebach et Linker, distribution Demeuze, système Adamson, indicateur de station Steffen, aiguillage électromagnétique André et Silbermann.

— (20 novembre 1897) : ANONYME. — *La consommation des moteurs à gaz pauvre.* — Court résumé d'une récente étude de M. Thwaite dans l'*Electrical Rewiew* de Londres.

— (20 novembre 1897) : B. BURNIE. — *Sur les facteurs qui déterminent le rendement de l'arc alternatif.* — Analyse très complète d'un récent article de cet auteur sur l'étude de l'arc à courant alternatif.

Éclairage électrique (27 novembre 1897) : ANONYME. — *La vitesse des tramways électriques.* — Résumé d'un article de M. Bollée montrant les dangers des vitesses admises actuellement pour les tramways électriques.

— (27 novembre 1897) : RICCARDO ARNO. — *Une méthode simple de démarrage des moteurs asynchrones à courant alternatif simple.* — Reproduction de deux minimes extraits du *Bulletin de l'Association électrotechnique italienne;* le procédé consiste à introduire des résistances dans l'induit, déterminées de façon à ce que le moteur démarre sous une faible impulsion.

— (4 décembre 1897) : ANONYME. — *La transmission de la force par l'électricité dans les exploitations houillères.* — Résumé d'une communication faite aux Ingénieurs civils de France par M. Goichot.

— (4 décembre 1897) : ANONYME. — *L'éclairage électrique à Paris.* — Rapport présenté par le Conseil d'administration du secteur de la place de Clichy à la dernière assemblée générale.

— (4 décembre 1897) : M. TRAVAILLEUR. — *Les tramways bruxellois à traction électrique souterraine.* — Description complète avec nombreuses figures des tramways électriques bruxellois, substitués aux tramways à traction animale sur les lignes de Bois-Schaerbeek et du Parc Casernes; usine, canalisation et matériel roulant.

— (11 décembre 1897) : ANONYME. — *Statistique des tramways en Amérique.* — Résumé des tableaux publiés par *The Street Railway Journal* sur l'état des tramways en Amérique en 1896 et en 1897, longueurs des voies et capitaux engagés ; comparaison des longueurs des réseaux exploités aux États-Unis en 1890 et 1897.

— (11 décembre 1897) : C.-P. STEINMETZ. — *Moteurs asynchrones. — Analyse, avec nombreuses figures, d'une communication faite par l'auteur à l' « American Institute of Electrical Engineers ».* — Étude des principales propriétés des moteurs asynchrones à champs tournants au régime normal et à toutes vitesses, influence de la chute de tension des transformateurs sur le travail maximum des moteurs asynchrones.

Industrie électrique (25 septembre 1897) : J. LAFFARGUE. — *L'usine d'électricité de la maison Ch. Mildé et Cie à Paris.* — Description de l'usine électrique installée dans les ateliers de M. Ch. Mildé

et servant à l'élairage, au transport d'énergie, ainsi qu'aux manipulations des élèves de l'École des apprentis électriciens.

Industrie Électrique (25 septembre 1897): F. Miron. — *Le halage électrique des bateaux.* — Description du système de halage de la Société Denèfle, Papot, Michel Galliot et Brueder, déjà signalé dans d'autres revues (Voy. 3e trimestre, *Périodiques français*, p. 378).

—— (10 octobre 1897) : Anonyme. — *Chemins de fer électriques de la Jungfrau.* — Quelques détails sur les stations centrales et les lignes de ce transport d'énergie électrique; considérations sur les voitures.

—— (10 octobre 1897) : Anonyme. — *Une nouvelle station métropolitaine.* — Courte description de la station génératrice municipale de la Vestry de Hammersmith (Londres), éclairage par rectificateur Ferranti.

—— (10 octobre 1897) : Anonyme. — *Lampe à arc Bardon.* — Description du nouveau régulateur Bardon à potentiel constant, fonctionnant sur courants continus ou alternatifs.

—— (10 octobre 1897) : G. Claude. — *Les fiacres électriques.* — Considérations diverses sur l'automobilisme, choix des véhicules, conditions à satisfaire, choix du moteur, résultats d'expériences.

—— (10 octobre 1897) : J. Reyval. — *Turbine de Laval fonctionnant à 200 atmosphères.* — Article intéressant donnant quelques renseignements sur une turbine de Laval, fonctionnant avec des pressions variant entre 50 et 220 atmosphères, mode particulier de génération de la vapeur à ces hautes pressions, régulation de l'alimentation des générateurs.

—— (25 octobre 1897) : Anonyme. — *Distribution à courants alternatifs par transformateurs.* — Reproduction d'un article de M. Alfred Schlatter, directeur de la station à courants alternanatifs de Budapest, publié dans le *Polytechnikai Szemle* du 1er septembre. — Étude des causes de perte d'énergie dans les distributions à courants alternatifs et moyens propres à les diminuer, description d'un interrupteur de haute tension.

—— (25 octobre 1897): Bauch.— *Sur les moteurs shunt pour tramways.* — Reproduction d'un article original paru dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 27 mai, sur les avantages des moteurs shunt appliqués à la traction électrique et sur les procédés imaginés par l'auteur pour faire varier la vitesse dans ce genre de moteurs.

Industrie électrique (25 octobre 1897) : F. Hospitalier. — *L'utilisation des accumulateurs sur les automobiles.* — Considérations sur l'emploi des accumulateurs dans l'automobilisme et sur la détermination du poids relatif d'accumulateur le plus avantageux à adopter.

—— (10 novembre 1897) : G. Claude. — *Sur l'exploitation des stations centrales.* — Étude du meilleur procédé de tarification de l'énergie livrée par les stations centrales, se réduisant à ceci : taxe d'immobilisation progressivement réduite en raison inverse de l'accroissement de la puissance, prix de l'énergie décroissant avec le coefficient de consommation.

—— (10 novembre 1897) : F. Pescetto. — *Sur un nouvel accumulateur léger.* — Reproduction d'un mémoire présenté par l'auteur à l'Association électrotechnique italienne, description de l'accumulateur Pescetto.

—— (10 et 25 novembre) : Anonyme. — *Emploi de courants alternatifs triphasés à 4.000 volts à la traction électrique.* — Descriptions du tramway électrique de Neufchâtel-Saint-Blaise ; différentes solutions proposées.

—— (25 novembre 1897) : Anonyme. — *Lampe à arc à courant alternatif.* — Courte description de la lampe à arc à courant alternatif à moteur asynchrone de M. Fabin Henrion.

—— (25 novembre et 10 décembre 1897) : E. Hospitalier. — *Nouvelle locomotive électrique de M. J.-J. Heilmann.* — Description de la nouvelle locomotive Heilmann, truck, chaudières, machines à vapeur, dynamos, excitatrice, moteurs, mode de commande, puissance de traction. Critique du système. Réponse de M. Heilmann.

—— (10 décembre 1897) : Anonyme. — *Transmission d'énergie électrique entre Méchanicsville et Schenectady.* — Résumé des deux articles parus sous ce titre dans l'*Electrical World* des 9 octobre et 13 novembre et signalé plus loin (Voy. *Périodiques anglais*, p. 295 et 298).

A. B.

X. — Architecture.

Nouvelles Annales de la Construction (octobre 1897) : H. Lavollay. — *Les constructions à ossature d'acier de Chicago.* — Le principal quartier de Chicago, enfermé entre la rivière, le lac Michigan et un réseau de voies ferrées, n'occupe qu'une étendue de 2 kilomètres carrés. De là, convenance de bâtiments très

élevés, comptant jusqu'à vingt étages. La mauvaise qualité du terrain de fondation oblige à alléger le plus possible la construction. On emploie une ossature d'acier recouverte d'un revêtement en briques et terre cuite moulée, et on élargit les fondations. Les colonnes se font en cornières et barres plates, ou en barres en Z, ou encore avec huit cornières accolées par paires et réunies entre elles par des plaques de liaison. — Ces grandes maisons s'exécutent dans un délai de sept mois à un an. La maison Champlain, élevée de quinze étages, fut commencée le 22 septembre 1893. L'ossature s'en trouva terminée le 23 décembre, et le revêtement réfractaire des planchers le 4 janvier. Elle était habitée au printemps de 1894.

Revue technique (10 et 25 octobre 1897) : G. Mercier. — *Les Pavillons Docker*. — Hôpitaux démontables. — Constructions hygiéniques. — Baraquements militaires. — Habitations portatives. — L'ossature est en bois. — Les parois et la couverture se composent de cadres en bois revêtus d'un carton spécial, muni d'un enduit extérieur qui le rend imperméable. Les pavillons destinés aux pays chauds ont une double couverture.

XI. — Administration. — Législation.

Revue politique et parlementaire (10 août 1897) : C. Colson. — *Revue des questions de transports*. — Les chemins de fer algériens et tunisiens en 1896. — Les chemins de fer d'intérêt local et les tramways en 1896. — Les conditions d'application des tarifs, les frais accessoires et le timbre des récépissés. — La proposition de loi sur le travail des chauffeurs et mécaniciens.

—— (10 novembre 1897) : C. Colson. — *Revue des questions de transports*. — La navigation intérieure en 1896. — Recensement de la batellerie. — Les mouvements du cabotage en 1896.

XII. — Divers.

Bulletin de la Société d'Encouragement (novembre 1897) : Barbet. — *Rapport sur la plate-forme électrique à deux vitesses, système Blot, Guyenet et de Mocomble*. — L'idée de faire marcher le chemin qui porte le voyageur ou la marchandise paraît an-

cienne. Elle a reçu dans ces derniers temps quelques applications restreintes. On pourrait l'appliquer à un circuit à grand trafic.

Un premier projet, proposé par M. Blot en 1886, comporte une plate-forme sans fin, mobile, circulant entre deux trottoirs fixes. Le bâti de la plate-forme porte, par l'intermédiaire de coussinets sur deux cours de rails sans fin qui reposent dans les gorges d'une succession de roues, sans contact avec le sol et calées sur des essieux montés sur des coussinets fixes. En faisant tourner les roues au moyen de dynamos, on fait avancer les rails et par suite la plate-forme. L'auteur du projet, supposant le plancher mobile animé d'une vitesse assez considérable, était obligé, pour permettre au voyageur d'y accéder sans danger, de faire marcher ce plancher par saccades en produisant, toutes les demi-minutes, des arrêts de quelques secondes. Ce projet n'eut pas de suite.

Les Américains, à Chicago, en 1893, puis les Allemands, à Berlin, en 1896, résolurent le problème au moyen de plateformes à deux vitesses. Du trottoir fixe on passait, à Chicago, sur un plancher marchant à 5 kilomètres à l'heure, puis sur un autre plancher marchant à 10 kilomètres à l'heure. A Berlin, les vitesses étaient de 8 et de 16 kilomètres.

Cette idée a été reprise par MM. Blot, Guyenet et Mocomble, qui se sont appliqués à alléger les organes mobiles. Le système proposé pour l'Exposition de 1897 comprend :

1° Un trottoir-station de $0^m,90$ de largeur ;

2° Une plate-forme embarcadère, de $0^m,80$ de largeur, roulant sur une voie de $0^m,45$ d'écartement à la vitesse de 5 kilomètres à l'heure ;

3° Une plate-forme de $1^m,30$ de largeur, roulant sur une voie de $0^m,90$ d'écartement à la vitesse de 10 kilomètres à l'heure.

Ces plates-formes sont élevées à 5 mètres au-dessus du sol, sur une passerelle métallique.

La vitesse de la plate-forme de $1^m,30$ étant de $2^m,70$ par seconde et le nombre des places y étant de quatre par mètre, le débit par heure du chemin atteindrait 38.880 voyageurs, chiffre bien supérieur à celui que pourrait donner un chemin de fer.

Bulletin de la Société d'Encouragement (novembre 1897) : PÉRARD. — *Les pêches maritimes et l'enseignement professionnel des marins.* — L'auteur donne la statistique des produits de la pêche maritime sur les côtes de France et la description très détaillée des

divers modes de pêche. Il fait ressortir l'utilité, pour la pêche côtière, de la substitution des bateaux à vapeur aux bateaux à voiles et la nécessité, pour les pêcheurs, d'un enseignement professionnel.

F. D.

PÉRIODIQUES ALLEMANDS.

III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur-wesen (1897, fascicule 5) : Hermann Klette. — *Le pont de la Reine-Charlotte à Dresde.*



Pile du viaduc d'accès du côté de la vieille ville.



Réverbère à gaz du pont.

— L'article, accompagné de nombreuses phototypies dans le texte et d'une planche d'atlas, dont nous reproduisons

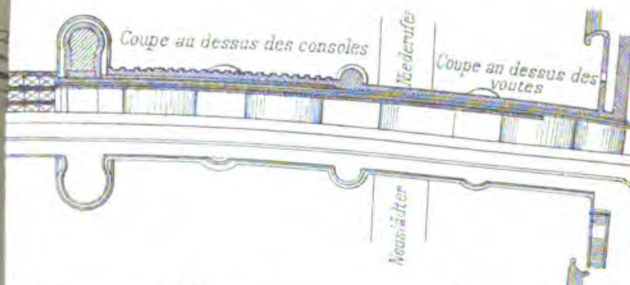


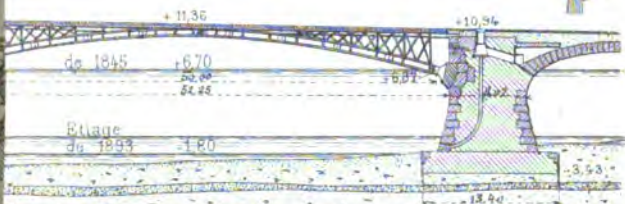
Escalier du côté de la vieille ville.

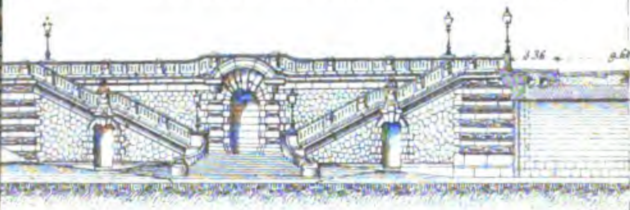


Vue d'une travée principale du pont.









Auto-Imp L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

les parties principales, donne le compte rendu de la construction d'un pont très décoratif établi récemment à Dresde sur l'Elbe. L'ouvrage se compose d'un pont métallique de trois arches de 52m,25 et 55m,75 d'ouverture, accompagné de deux viaducs d'accès en maçonnerie, comprenant, celui qui est situé du côté de la vieille ville, deux arches, celui qui est du côté de la ville neuve, quatre arches; les arches en maçonnerie ont toutes des ouvertures qui diffèrent peu de 20 mètres. Les dessins joints au présent compte rendu font voir l'importance de la décoration de cet ouvrage, qui est situé au centre de la ville de Dresde et qui relie la vieille ville à la nouvelle; la largeur du pont est de 16 mètres entre parapets, savoir : une chaussée de 9m,60 et deux trottoirs de 3m,20.

Les naissances des travées métalliques ont été établies un peu au-dessus du niveau des plus hautes eaux, soit à la cote (6m,87) au-dessus de l'étiage. Les deux piles en rivière, fondées au moyen de caissons à l'air comprimé, ont été descendues jusqu'à la cote (—9m,50).

Les dépenses totales de construction se sont élevées à la somme de 4.156.250 francs, savoir :

Pour la construction proprement dite...	3.104.155 fr.
Pour les travaux accessoires...........	760.863 »
Divers................................	291.232 »
Total.........	4.156.250 fr.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur-wesen (1897, fascicule 6) : GRAVENHORST. — *La mesure de l'usure des chaussées empierrées et le calcul de la quantité de pierres nécessaires d'après le nombre et la charge des essieux.* — L'auteur pense qu'il sera de quelque utilité de faire connaître les conséquences auxquelles il est arrivé par des observations commencées en 1880 et continuées pendant seize années, et au sujet desquelles il a déjà fait une communication en 1887. Après avoir exposé les détails de ses constatations, il en conclut que les chaussées empierrées sont impropres à un fort trafic. Une partie importante de l'effort de traction est employée à réduire en poussière les pierres de la chaussée ; les dépenses d'entretien et la résistance à la traction sont élevées. Après avoir rappelé que ces inconvénients diminuent sur une chaussée constituée en petits pavés, mais que chaque joint de pavé constitue une résistance spéciale et entraîne l'usure des pavés, même

s'ils sont en fer, l'auteur fait connaître qu'il a été amené à établir sur une route du Hanovre, entre Stade et Hollern, et sur une longueur de 500 mètres, deux pistes métalliques. Elles sont composées de bandes d'acier de 150 millimètres de largeur, de 10 mètres de longueur, pesant 10 kilogrammes le mètre courant, et reposent sur une fondation en béton. La partie médiane de ces bandes présente un creux de 2 millimètres et demi par rapport aux arêtes, et les pierres qui les bordent sont en saillie de 15 millimètres. Depuis le mois de septembre 1894, où elles ont été installées, jusqu'en novembre 1896 (époque où l'article a été écrit), cette installation a donné de bons résultats. Elle n'a cependant pas obtenu l'approbation unanime des voituriers du pays, dont quelques-uns n'empruntent pas volontiers ces pistes. L'auteur fait remarquer, d'ailleurs, que cette idée n'est pas nouvelle. Déjà, vers le milieu du siècle précédent, elle a été appliquée en Angleterre pour le transport des houilles et, dans l'antiquité, les Romains ont construit des voies avec pistes, et peut-être aussi les Grecs.

IV. — Navigation intérieure.

Allgemeine Bauzeitung (1897, fascicule 3) : Josef Brzpalec. — *Les travaux d'eau dans la région des étangs de Wittingau, après l'inondation de l'année 1890.* — La région des étangs de Wittingau constitue un grand bassin de la nouvelle formation tertiaire, qui commence à Gmünd dans la basse Autriche et s'étend entre Gratz, Lischau et Neuhaus vers le nord jusqu'à Sobeslau. L'article, accompagné de trois planches d'atlas, donne le compte rendu des travaux qui ont été rendus nécessaires à la suite des dégats causés par les hautes eaux de 1890.

Les pluies abondantes du mois de septembre de cette année ont amené des débordements des étangs et des ruptures des digues de protection. Le long de la rivière Neubach, la digue, s'étant rompue en deux endroits, a dû être reconstruite, ainsi que la défense du village de Mlaka. Les travaux de reconstruction de la digue de Neubach, renforcée et surélevée de $0^m,50$ au-dessus des hautes eaux de 1890, ainsi que la réfection de trois écluses, ont eu lieu en 1891 et ont coûté une somme totale de 45.000 florins (soit 94.500 francs).

La défense de Mlaka, qui comprend un barrage avec une écluse pour l'écoulement des hautes eaux, a été refaite à l'au-

tomne de 1892 et à l'été de 1893 et a entraîné une dépense de 20.000 florins (soit 42.000 francs).

Dans la région voisine de Wittingau, les dégats avaient été considérables, cette ville se trouvant dominée par trois étangs, celui de Vyskok, qui a 57 hectares, celui de Spolsky, de 124 hectares, et celui de Swet, qui a 200 hectares, en hauteur normale des eaux; ce dernier étang est aux portes de la ville. La réfection du canal de fuite de l'étang de Spolsky, exécutée en 1891, a coûté 1.600 florins (soit 3.360 francs).

Les travaux de reconstruction auprès de l'étang de Swet, exécutés à l'automne de 1890 et au printemps de 1891, ont coûté 16.000 florins (soit 33.600 francs).

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules 7 à 9) : ALBERT RUDOLPH. — *La régularisation de l'embouchure de la Weichsel. Les machines de l'écluse d'Einlage.* — La Weichsel se jette dans la mer près de Dantzig. Pour diminuer autant que possible les dangers résultant de l'envahissement des glaces, on a dévié le bras principal, la Weichsel de Dantzig, et on a raccourci son trajet de 10 kilomètres. Des travaux ont donc été nécessaires pour relier le nouveau cours du fleuve avec l'ancien et assurer les relations de la navigation avec la ville de Dantzig. On a jugé utile d'établir deux canaux séparés pour les bateaux et pour le flottage, de manière que le trafic des bateaux ne fût pas gêné par celui du flottage. L'écluse de navigation construite dans ce but près d'Einlage a trois paires de portes, dont l'une est fermée seulement contre les glaces et les hautes eaux ; les deux autres servent pour l'exploitation de l'écluse. Sur la tête amont de l'ouvrage se trouve un pont tournant. Le service des portes, du pont tournant, des vannes, des cabestans et d'un autre pont tournant situé sur l'écluse du flottage, est assuré au moyen de l'eau comprimée à la pression de 50 kilogrammes par centimètre carré.

L'article, accompagné de figures et de trois planches d'atlas, décrit avec détail les diverses installations, savoir : les portes de défense contre les glaces et les hautes eaux, les deux paires de portes d'écluse ; elles sont en fer et ont, les premières $6^{m},910$, les secondes $6^{m},828$, entre le poteau tourillon et le poteau busqué ; les vannes tournantes, en acier, de $1^{m},545$ de hauteur et $1^{m},225$ de largeur, établies dans ces portes ; le pont tournant, de $1^{m},90$ de chaussée avec deux

trottoirs de $0^m,80$ et pesant 56.000 kilogrammes; la station des pompes, puisant l'eau dans un puits artésien de 109 mètres de profondeur; les pompes de compression à trois cylindres refoulant l'eau dans un accumulateur à la pression de 50 kilogrammes par centimètre carré ; les cabestans, les tuyaux de conduite, les leviers de manœuvre, analogues à ceux qui servent dans les chemins de fer, pour les appareils de signaux et d'enclenchement.

L'article ne donne pas de renseignements sur les dépenses effectuées.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules 7 à 9) : MÜLLER et RUDOLPH. — *La régularisation de l'embouchure de la Weichsel.* — *Le bac à vapeur de Schiewenhorst.* — Le nouveau cours de la Weichsel, dont il est parlé plus haut, coupe près de Schiewenhorst la route provinciale des dunes allant de Dantzig à Stutthof. La circulation qui s'exerce sur ce chemin a nécessité l'établissement d'un passage pour voitures et piétons, qui fût installé de manière à en assurer l'exploitation en tout temps, sauf par les fortes glaces. La largeur du passage est de 400 mètres ; il est situé à 1.200 mètres environ de la mer, de telle sorte que les vents de mer du Nord et du Nord-Est s'y font sentir avec une grande violence. On y a établi un bac à vapeur dont le service est fait par un bateau de 24 mètres de longueur et 8 mètres de largeur maxima ; il a $2^m,90$ de profondeur et 2 mètres environ d'enfoncement, avec une charge de 25 tonnes. Le bateau est mû par deux machines compound à deux cylindres, de chacune 95 chevaux de puissance, alimentées par deux chaudières; il a deux hélices, une à chaque extrémité du bateau. Ce bateau est en fer; on y accède de chaque côté du passage au moyen d'une passerelle en fer supportée de la rive par deux fortes poutrelles également en fer, ayant 15 mètres de longueur et oscillant en leur milieu autour d'un support solidement ancré dans un massif de fondation, de manière à permettre l'accès du bac, suivant les différentes hauteurs de l'eau.

Ce bac, établi depuis le printemps de 1895, a toujours très bien fonctionné.

L'article, accompagné de figures dans le texte et d'une planche d'atlas, donne tous les détails de sa construction.

V. — TRAVAUX MARITIMES.

Zeistchrift für Bauwesen (1897, fascicules 7 à 9) : FÜLSCHER. — *La construction du canal de l'Empereur-Guillaume.* — L'article, accompagné de nombreuses figures et de quatre planches d'atlas, continue la description des travaux du canal ; il est consacré aux travaux de consolidation des rives et des talus et au commencement de la description des écluses et travaux de port.

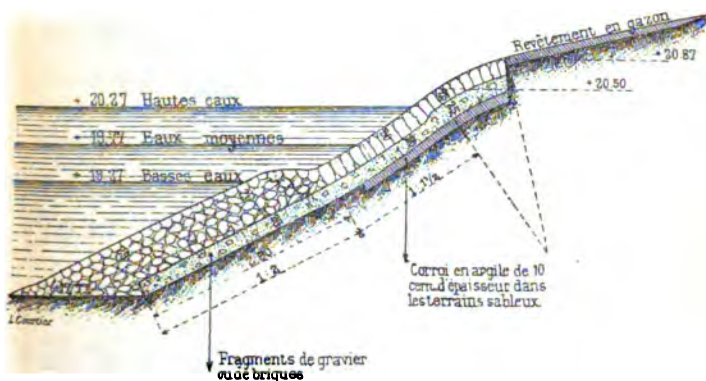


FIG. 1. — Profil appliqué aux 11ᵉ, 13ᵉ, 14ᵉ, 15ᵉ et 16ᵉ lots. Revêtement en maçonnerie.

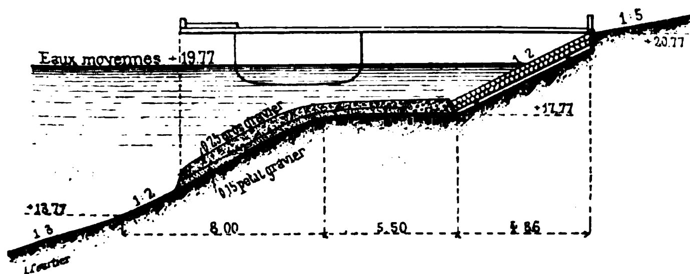


FIG. 2. — Consolidation de talus.

La dépense totale des consolidations de rives et de talus s'est élevée à la somme de 16.820.000 francs, qui se répartit de la manière suivante :

Une longueur de rive d'environ 179 kilomètres a été consolidée par des revêtements en maçonneries (béton, briques,

pierres cassées, etc.) (*fig.* 1); la surface de ces revêtements est d'environ 1.200.000 mètres carrés. La dépense correspondante s'élève à.................................... 11.725.000 fr.
ce qui correspond à une dépense de 64 fr. 50 pour 1 mètre de longueur de revêtement et de 9 fr. 80 pour 1 mètre carré de surface couverte.

Des travaux de consolidation de talus dans les terrains sablonneux ont été exécutés au-dessous du niveau de l'eau (*fig.* 2), pour une somme totale de.......................... 3.106.250 »

Le prix de revient des consolidations de talus a varié de 87 fr. 50 à 125 francs pour 1 mètre de longueur de canal (les deux rives comprises).

On a dépensé en outre :

Pour revêtement et ensemencement de talus, au-dessus du niveau des eaux................ 576.250 »

Pour détournement de sources et réfection de talus dégradés............................ 1.166.250 »

Pour clayonnages et travaux divers de consolidation de talus au-dessus de la ligne des eaux. 136.250 »

Pour plantation de haies et clôtures diverses. 42.500 »

Pour entretien des défenses de talus et de rives pendant la période de construction..... 67.500 »

Ces diverses sommes donnent le total ci-dessus de.................................. 16.820.000 »

Les travaux décrits sous le titre *Écluses et travaux de port* se divisent en cinq groupes, savoir :

1° L'écluse avec port près de Brünsbuttel;

2° L'écluse avec port près de Holtenau ;

3° L'écluse près de Rendsbourg, entre le canal et l'Eider;

4° Les petites écluses accessoires du canal ;

5° Les petits travaux de port.

L'article donne la description complète des travaux de construction de l'écluse de Brünsbuttel. C'est une écluse double, de 216^{m},858 de longueur totale, mesurée entre les parements extérieurs des murs extrêmes. Chacune des deux écluses a 25 mètres de largeur entre les bajoyers ; le radier, établi suivant une courbe de 39^{m},522 de rayon, a son point bas à la cote (+ 9^{m},60), la tenue d'eau normale du canal étant à la cote (+ 19^{m},77). Les hautes eaux ordinaires sont à la cote (+21^{m},29),

et le dessus des bajoyers est arasé à $1^m,71$ au-dessus des hautes eaux, soit à la cote (+ 23 mètres).

L'ouvrage est fondé sur un radier général en béton de $4^m,20$ d'épaisseur environ, qui descend à la cote (+ 5 mètres). L'épaisseur du bajoyer qui sépare les deux écluses est de $12^m,50$; celle des bajoyers latéraux de $6^m,35$. Chaque écluse est munie de quatre paires de portes principales, deux à chaque extrémité ; elle est en outre séparée en son milieu en deux parties par deux paires de portes plus petites. Les massifs de maçonnerie des bajoyers qui entourent les portes principales sont arasés à la cote ($26^m,50$), soit à $1^m,50$ au-dessus des plus hautes eaux extraordinaires (cote + 25 mètres), tandis que le surplus des bajoyers est, comme nous l'avons dit, arasé à la cote (+ 23 mètres).

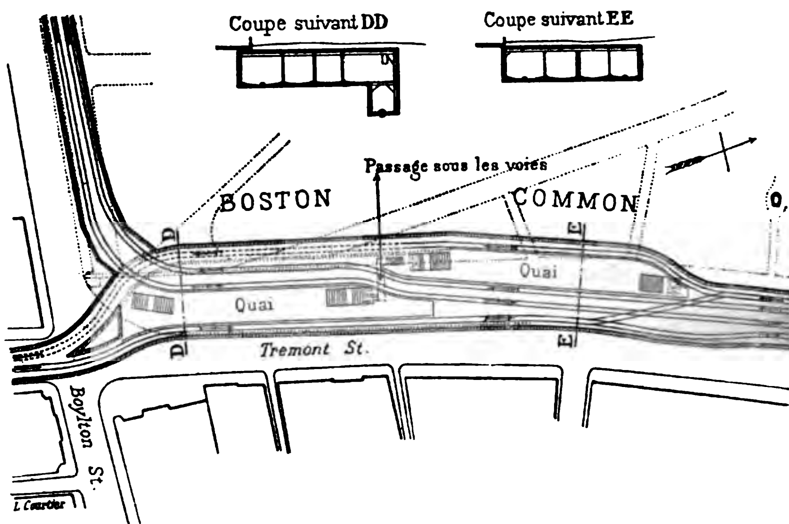
Cette écluse se trouve comprise entre un avant-port et un port intérieur. Elle a été livrée à la navigation au mois d'avril 1895. Les travaux avaient été commencés en 1891.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Allgemeine Bauzeitung (1897, fascicule 3) : William Watson. — *La construction du tunnel pour le tramway électrique de Boston (États-Unis d'Amérique).* — L'importance du trafic des tramways électriques qui desservent les rues de la ville de Boston est telle que l'on a reconnu récemment la nécessité de les établir en souterrain sur une partie importante de leur parcours. Le samedi avant Noël de l'année 1894, on a procédé au comptage des voyageurs qui empruntent ces tramways aux stations comprises entre Weststreet et Bromfieldstreet, afin de connaître la surface nécessaire pour les quais sur lesquels doit se concentrer le trafic de ces stations. Le nombre total des voyageurs, au départ et à l'arrivée, entre six heures du matin et minuit, a été trouvé égal à 64.659. Sur ce nombre, 27.851 voyageurs quittaient les wagons allant vers le nord, et le maximum de la fréquentation dans ce sens a été de 3.450 personnes, entre huit et neuf heures du matin : 30.027 voyageurs montaient dans les wagons allant vers le sud, et le maximum de la fréquentation dans ce sens a été de 3.406 personnes, entre cinq et six heures du soir. Ces nombres montrent à quelle intensité de trafic les quais de ces stations doivent pouvoir faire face.

Le tracé du tramway en souterrain comporte deux lignes, de

deux voies chacune, qui partent l'une du Jardin public, l'autre de la rencontre de « Shawmut Avenue » et de « Tremont street ». Ces deux lignes se réunissent à l'intersection de « Tremont street » et de « Boylton street » à une station qui est disposée de telle sorte qu'il n'y ait aucun croisement à niveau des voies sur lesquelles les wagons passent dans des directions différentes ; le croisement se fait au moyen d'un passage en souterrain établi sous la ligne souterraine elle-même (voy. la *fig.* ci-dessous). A partir de



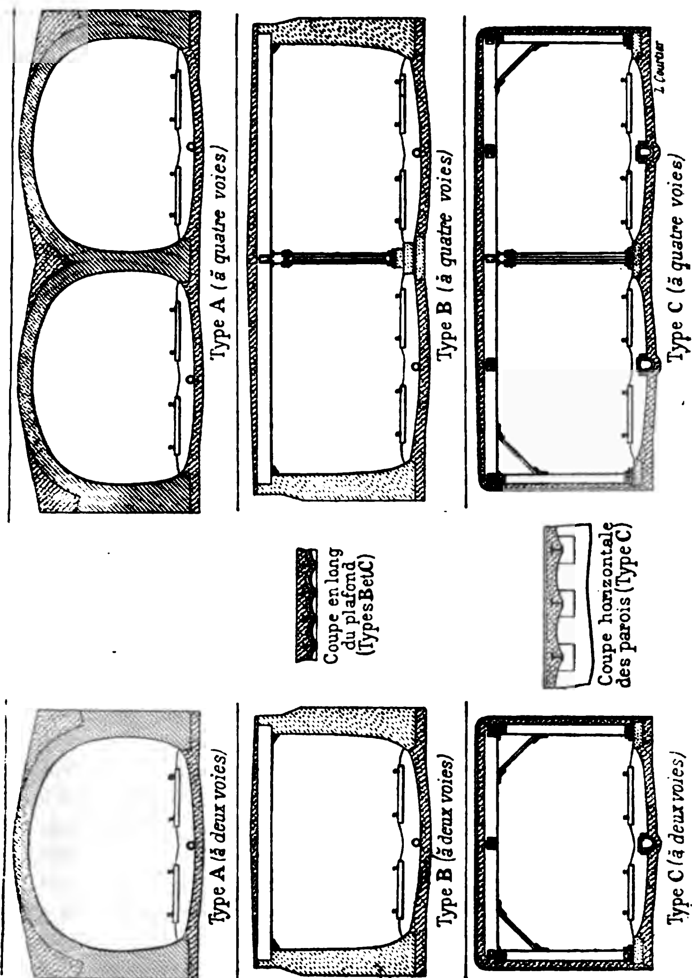
Plan de la station à l'angle de Tremont street et de Boylton street.

ce point les quatre voies continuent côte à côte jusqu'à la station de « Parkstreet », à partir de laquelle il n'existe plus que deux voies.

La longueur totale des voies en souterrain est d'environ 5 milles.

La méthode de construction des souterrains peut se résumer comme il suit : les murs latéraux sont constitués par des poutres à double **T**, qui sont noyées dans le béton, et le toit est formé de poutrelles en acier réunies par des voûtes en briques ou en béton. La hauteur normale est de 14 pieds au-dessus de la surface supérieure des rails ; la largeur pour deux voies est de 24 pieds et pour quatre voies de 48 pieds. Le souterrain pour

quatre voies est soutenu au milieu par une ligne de piliers en acier. Le dessus des voies se trouve à environ 17 pieds au-dessous du niveau des rues, et les quais à 16 pieds au-dessous de ce même niveau.



Les escaliers d'accès aux stations sont couverts et fermés ; les voies sont éclairées à la lumière électrique, et de puissants ventilateurs assurent le renouvellement de l'air.

Les *fig.* ci-jointes représentent les types de profils en travers étudiés pour les souterrains. Un grand nombre d'ingénieurs ont été consultés sur cette question ; la majorité s'est prononcée pour l'adoption du type C. C'est ce type qui a été choisi pour la première section de la ligne souterraine. On pourra employer également les types B et A dans d'autres parties.

Les travaux ont été commencés le 28 mars 1895 par la tranchée de la rampe d'accès au souterrain dans le Jardin public.

D'après les dernières estimations, les prix de revient sont les suivants :

Pour la rampe d'accès.....	41.000 dollars
Pour le souterrain à 2 voies.	122 dollars par pied courant
— — 4 —	182 — —
Pour la première section tout entière.............	205.000 dollars

Archiv für Eisenbahnwesen (1897, fascicule 5, septembre et octobre). — Ce fascicule contient les matières suivantes :

1° G. Fleck. — *Étude sur l'histoire des chemins de fer prussiens.* — Cet article est la quatrième partie d'une étude dont le commencement a été publié en 1896 et 1897, et qui s'étend à la période comprise de 1842 à 1844 ;

2° C. Thamer. — *Le mouvement des marchandises sur les chemins de fer allemands en* 1896 (étude statistique);

3° F. Thiess. — *Les chemins de fer d'Ussuri.* — Il s'agit d'une ligne de 763 kilomètres de longueur, qui est destinée à relier la ville de Vladivostock à celle du Chabarowsk, sur l'Amour, dans la province d'Ussuri, située en Sibérie sur la côte de la mer du Japon. La partie Nord de cette ligne sera terminée à la fin de 1897; la partie Sud a été ouverte à l'exploitation par tronçons depuis le mois de novembre 1893. D'après l'état actuel des travaux, on pense pouvoir ouvrir à l'exploitation complète au commencement de l'année 1898;

4° Rudolf Nagel. — *Les chemins de fer de Hongrie en* 1895 (compte rendu statistique);

5° *Les chemins de fer de l'Inde anglaise pendant l'année* 1895-1896 (compte rendu statistique).

—— (1897, fascicule 6, novembre et décembre). — Ce fascicule contient les articles suivants :

1° G. Fleck. — *Étude sur l'histoire des chemins de fer prussiens.* — Fin de cette étude, qui s'étend jusqu'à la fin de l'année 1844;

2° Dr Mertens. — *Le mouvement des marchandises sur les chemins de fer russes pendant l'année* 1894 (Compte rendu statistique);

3° *Les chemins de fer en Allemagne, en Angleterre et en France, pendant les années* 1893 *à* 1895. — La longueur des chemins de fer était à la fin de l'année 1895, de :

45.261 kilomètres	....	en Allemagne
34.069 —	....	en Angleterre
40.226 —	....	en France

Les dépenses d'établissement s'élevaient aux chiffres suivants :

En Allemagne..............		14.858 millions de francs
	Soit....	315.190 francs par kilomètre
En Angleterre..............		25.028 millions de francs
	Soit....	734.620 francs par kilomètre
En France..................		15.943 millions 1/2 de francs
	Soit....	396.350 francs par kilomètre

4° *Les chemins de fer de l'État Wurtembergeois pendant l'exercice* 1895-1896 (Compte rendu statistique, avec une annexe sur les institutions de bienfaisance de ces chemins de fer);

5° *Les chemins de fer du grand-duché de Bade en* 1895 (Compte rendu statistique);

6° *Les chemins de fer des Pays-Bas en* 1895 (Compte rendu statistique);

7° *Les chemins de fer belges en* 1895 (Compte rendu statistique);

8° *Les chemins de fer roumains.* — Ces chemins de fer comportaient, à la fin de 1895, une longueur de 2.741 kilomètres en exploitation, avec 263 stations et haltes. Le nombre des voyageurs, qui était de 1.354.286 en 1884, est passé à 5.851.422 en 1895. Les recettes des voyageurs, dans la même période, ont passé de 8.300.000 francs à 16.450.000 francs. Quant au trafic des marchandises, il a augmenté de 12.300.000 francs à 25.000.000 francs;

9° *Les chemins de fer en Australie* (Compte rendu statistique).

Organ für die Forschritte des Eisenbahnwesens (1897, fascicules 1 et 2) : A. Birk. — *La construction des voies en vue du trafic des trains express.* — L'auteur rappelle les communications faites au Congrès international des chemins de fer, en 1883. à Pétersbourg, et en 1895 à Londres, par M. W. Ast, directeur de la construction des chemins de fer du Nord-Empereur-Ferdinand, sur les relations entre l'exploitation et la solidité de la superstructure. Il examine successivement la consistance des voies parcourues par des trains express sur divers réseaux, tels que ceux de l'Empereur-Ferdinand, des chemins de fer de l'État autrichien, des chemins de l'Adriatique, belges, égyptiens, hollandais, et en France, des Compagnies Paris-Lyon-Méditerranée, Paris-Orléans, du Nord, de l'Est et des chemins de fer de l'État.

Le tableau ci-dessous indique, d'après l'auteur, la valeur du surhaussement et du surécartement dans les courbes, admis par ces différentes administrations.

CHEMINS DE FER	SURHAUSSEMENT		SURÉCARTEMENT		OBSERVATIONS
	Calculé par la formule	avec maximum de	Calculé par la formule	avec maximum de	
Nord-Empereur-Ferdinand	$H = \frac{sc^2}{gR}$	125 m/m	—	28 m/m	H, surhaussement (en mètre e, surécartement (en millim. s. écartement des traver d'axe en axe (en mètres) S, largeur de la voie (en m. c, plus grande vitesse des tra en mètres par seconde. v, plus grande vitesse des tra en kilom. à l'heure. $g = 9^m,81$ (accélération de pesanteur). R = rayon de la courbe (mètres). (1) Les surhaussements sont général un peu plus élevés q d'après la formule $H = \frac{sc}{g}$ (2) $V = 50$, quand $r < 60$ k $V = 60$, quand $r \geqq 60$ k (3) $n = 0^m,075$ pour lignes parcourues par des tra express. (4) Sur les remblais, la du côté du talus est surélev de 2 centimètres. (5) On emploie, à titre d'ess la formule $H = \frac{54}{R}$: si $r >$ les valeurs de H sont augm tées de 1/4. (6) $r = 74,67$ pour tou les lignes principales.
Chemins de fer de l'État Austro-Hongrois	$H = 0.01177 \frac{v^2}{R}$	145	$e = \frac{13.302}{R} - 10$	30	
Chemins de fer du Sud de l'Autriche	— (1)	150	—	26	
Adriatique (Sud de l'Italie)	$H = \frac{sc^2}{gR}$	140	—	15	
Méditerranée	$H = \frac{Sc^2}{gR}$	140	—	15	
État Français	$H = \frac{V}{R}$ (2)	—	—	—	
P.-L.M.	$H = \frac{v}{R}$	150	—	—	
Paris-Orléans	$H = \frac{0,0118v^2}{R}$	—	—	10	
Nord français	$H = \frac{1000\,n}{R}$ (3)	—	—	15	
Est français	$H = 0,153 \frac{c^2}{R}$ (4)	—	—	—	
État belge	$H = \frac{Sc^2}{gR}$ (5)	150	—	—	
Chemins hollandais	—	130	—	21	
Chemins égyptiens	$H = \frac{v}{R}$	160	—	—	
Pétersbourg-Warschau	$H = 12,792 \frac{v^2}{R}$ (6)	—	—	—	

Organ für die Forschritte des Eisenbahnwesens (1897, fascicules 3, 4 et 5) : EDMUND KELÉNYI. — *Les locomotives à l'Exposition du Millénaire à Budapest, en* 1896. — L'article, accompagné de vingt et une figures d'atlas, donne la description des principales locomotives exposées en 1896, à Budapest. Quelques-unes de ces machines sont sommairement décrites dans le tableau qui suit :

DÉSIGNATION des locomotives	ADMINISTRATIONS	ANNÉE de la construction	ROUES	PRESSION de la vapeur	POIDS total	FORCE de traction $\frac{d^2 l}{D} \cdot \frac{p}{2}$
Locomotives pour trains express.	Chemin de Theiss.	1857	6 roues. 4 roues accouplées à l'arrière, diamètre, $1^{m},920$.	$6^{atm},5$	$32^{T},2$	1.500^{kg}
»	Chemins de fer de l'État hongrois.	1874	8 roues. 1 bogie et 4 roues accouplées à l'arrière, de $1^{m},922$ de diamètre.	10 ,0	40 ,0	2.600
»	Compagnie des chemins de fer de l'Etat.	1882	8 roues. 4 roues accouplées au milieu, de $1^{m},80$ de diamètre.	9 ,0	47 ,4	3.000
»	Chemins de fer de l'Etat hongrois.	1890	8 roues. 1 bogie et 4 roues accouplées à l'arrière, de 2 mètres de diamètre.	13 ,0 (machine compound)	54 ,7	3.800
Locomotives pour trains omnibus.	Compagnie des chemins de fer de l'Etat.	1848	8 roues. 4 roues accouplées à l'arrière, de $1^{m},264$ de diamètre.	8 ,0	29 ,66	2.900
»	Chemins de fer de l'Etat hongrois.	1869	6 roues. 4 roues accouplées à l'arrière, de $1^{m},516$ de diamètre.	8 ,5	38 ,6	2.800
Locomotives pour trains de marchandises	Chemins de fer de l'Etat hongrois.	1892	6 roues accouplées, de $1^{m},440$ de diamètre.	13 ,0 (machine compound)	42 ,5	6.800
»	Id.	1894	8 roues accouplées, de $1^{m},220$ de diamètre.	13 ,0	56 ,15	8.800
Locomotive-tender pour voie de 760^{mm} de largeur.	Chemins de fer de l'Etat de Bosnie et Herzégovine.	1885	8 roues. 6 roues accouplées à l'avant, de $0^{m},900$ de diamètre.	12 ,0	25 ,6	2.520
Locomotive compound pour voie de 760^{mm} de largeur.	Id.	1895	8 roues. 4 roues accouplées au milieu, de $1^{m},100$ de diamètre.	12 ,0	23 ,22	2 060
Locomotive-tender, système Abt, pour voie de 760^{mm} de largeur.	Id.	1895	10 roues. 6 roues accouplées à l'avant (diamètre, $0^{m},800$ pour l'adhérence et $0^{m},688$ pour la crémaillère).	12 ,0	36 ,5	3.900 (adhérence) 4.075 (crémaillère)

Organ für die Forschritte des Eisenbahnwesens (1897, fascicules 4, 5 et 6) : A. Schnridt. — *L'injection des traverses en bois par le chlorure de zinc et la créosote.* — L'auteur rappelle l'importance que présente la préparation des traverses en bois au moyen de liquides destinés à en prolonger la durée. Les traverses en chêne non injecté durent en moyenne quinze ans, les traverses en pin, de sept à huit ans, et les traverses en hêtre, deux ans et demi à trois ans. Sur le réseau des chemins de fer allemands la dépense annuelle pour les traverses en bois s'élève à plus de 15 millions de marks (18.750.000 francs) et varie suivant le prix des bois ; il est donc très important de prolonger leur durée par les procédés en usage. L'auteur passe en revue l'emploi du chlorure de zinc, de la créosote, du sulfate de cuivre et du sublimé corrosif ; il donne des détails circonstanciés sur les procédés d'injection par le chlorure de zinc et la créosote et fait connaître les résultats de ses observations en ce qui concerne l'emploi de ces deux liquides. Ces résultats sont résumés ci-dessous :

ESSENCE des traverses	PRIX des traverses brutes	INJECTION AU CHLORURE DE ZINC				INJECTION A LA CRÉOSOTE			
		Poids du liquide injecté	Prix total	Durée moyenne	Dépense pour un an	Poids du liquide injecté	Prix total	Durée moyenne	D
	fr.	kg.	fr.	années	fr.	kg.	fr.	années	
Chêne.....	7,76	11	8,45	15	0.562	7	8.89	24	
						11	9.26	28	
Hêtre	5,25	34	6.06	9	0.675	30	7.87	30	
						36	8.35	34	
Pin.......	4,39	34	5,20	12	0,434	23	6.64	[illegible]	
						36	7,34	23	

On a également essayé l'injection des traverses avec un mélange de chlorure de zinc et de créosote (chemins de fer de l'État prussien). Le mélange doit être aussi intime que possible et tel que la solution du chlorure de zinc chauffée à 65° reçoive pour une traverse 2 kilogrammes de créosote. Le prix de revient de cette injection varie de 1 fr. 025 à 1 fr. 175, tandis que l'injection à la créosote seule coûte de 2 fr. 25 à 3 fr. 10. Mais la quantité de 2 kilogrammes de créosote pour une traverse paraît faible et devra être portée à 4 kilogrammes, et même

plus pour les traverses de fortes dimensions. Ces essais ont été faits par la maison Rütger, de Berlin.

L'auteur cite enfin des expériences faites d'avril à octobre 1896, sur le séchage des traverses par l'air chaud à 100°, suivi d'une injection de créosote. Mais ces essais n'ont porté que sur six traverses de chaque espèce de bois, et les résultats ne peuvent pas être bien concluants.

Organ für die Forschritte des Eisenbahnwesens (1897, fascicules 6 et 7) : E. Schubert. — *Le sol, le ballast et le profil des traverses de chemins de fer.* — L'auteur rend compte des nouvelles recherches qu'il a faites à ce sujet, recherches qui font suite à celles dont il a publié les résultats en 1896 dans les *Zeitschrift für Bauwesen* (Voy. *Annales* de 1896, numéro de septembre, p. 342).

Il a étudié successivement : l'influence du ballast sur les déformations de la plate-forme; l'influence de la nature du ballast; la distance des traverses et la hauteur du ballast; la forme des traverses; enfin l'établissement de la superstructure avec traverses métalliques dont le profil transversal a la forme d'une croix.

Voici quelques-unes de ses conclusions :

1° Pour éviter la formation d'aspérités et d'inégalités sur une plate-forme d'argile, il est utile d'interposer entre cette plate-forme et le ballast une couche de sable de 5 à 8 centimètres d'épaisseur. L'interposition d'une couche de pierres cassées produit également un bon effet au point de vue de la répartition des pressions, mais elle a ce grand inconvénient, que les pierres s'enfoncent dans l'argile et que la surface de la plate-forme devient irrégulière ;

2° Une voie de chemin de fer ballastée en gravier use sept fois autant de ballast et exige trois fois autant de main-d'œuvre que la même voie ballastée en pierres cassées;

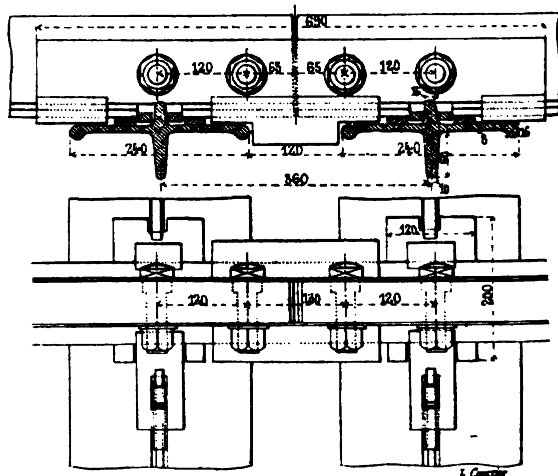
3° La hauteur convenable pour le ballast dépend de la distance des traverses. Avec un espacement des traverses de $0^m,95$ à $0^m,75$, l'épaisseur du ballast ne doit pas être moindre que $0^m,40$ à $0^m,30$; si l'espacement est de $0^m,75$ à $0^m,55$, l'épaisseur du ballast doit être au moins de $0^m,30$ à $0^m,20$; enfin avec des écartements de traverses de $0^m,55$ à $0^m,36$, la hauteur du ballast peut descendre jusqu'à $0^m,20$ à $0^m,10$;

4° La traverse en forme d'auge renversée (n° 51 des chemins de fer de l'État prussien) exige plus de main-d'œuvre d'entre-

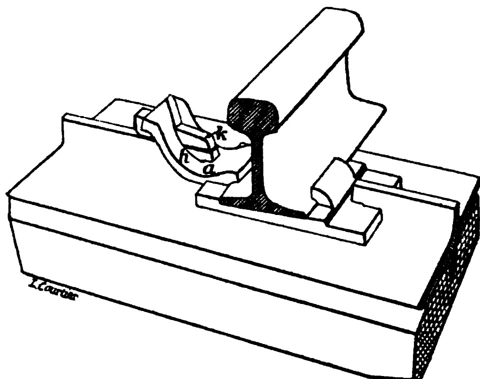
tien et consomme plus de ballast que la traverse avec talon médian;

5° L'auteur fait connaître l'emploi d'une traverse métallique dont le profil transversal a la forme d'une croix; cette tra-

Éclissage.



Vue en perspective.



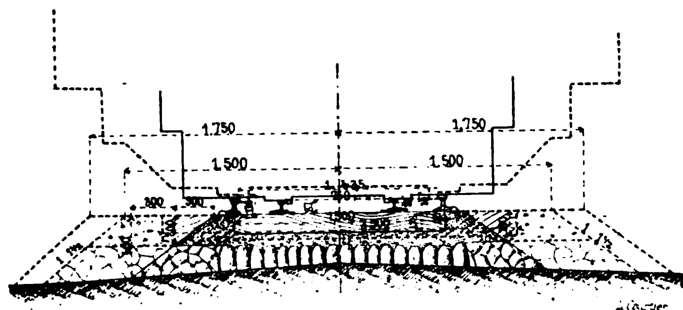
Superstructure avec traverse en forme de croix.

verse a une largeur de 240 millimètres, une hauteur totale de 101 millimètres, une section de 3.514 millimètres carrés et un poids de 79k,5 pour une longueur de 2m,70. Les *fig.* ci-jointes

montrent la disposition de la voie avec cette traverse. Le coin *k* est destiné à assurer le serrage du rail au moyen de la pièce *ha*, qui est coincée entre le patin du rail et la nervure supérieure de la traverse.

L'auteur ajoute que la voie posée sur ce genre de traverse, avec 16 traverses par longueur de rail de 12 mètres, 868 millimètres d'écartement entre les traverses courantes et 360 millimètres entre les traverses de joint, a été reconnue très bonne par l'expérience. L'attache du rail et de la traverse est extrêmement simple et rapide à effectuer; le remplacement d'un rail se fait en quelques minutes.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur-wesen (1897, fascicule 6) : L. Neumann. — *La transformation de la ligne de chemin de fer à voie étroite de Klotzsche à Königsbrück en ligne à voie normale, en* 1896-1897. — Il s'agit d'une ligne de chemin de fer établie entre Klotzsche et Königsbrück ,au nord de Dresde, sur une longueur de 19km,490 avec une largeur de voie de 0m,75 entre les bords intérieurs des rails. L'augmentation du trafic



et aussi la nécessité des transports militaires ont conduit à transformer cette ligne et à lui donner la largeur de 1m,435 entre les bords intérieurs des rails. La transformation comportait le programme suivant : porter à 200 mètres le minimum du rayon des courbes, qui était de 100 mètres ; maintenir à 1/60 (0m,0166 par mètre) le maximum des déclivités; porter à 3 mètres la largeur du ballast au niveau du dessous des rails, en réservant la possibilité de lui donner 3m,50 (voir la *fig.* ci-jointe); remplacer les ponts métalliques en les constituant

d'une manière plus solide; établir la voie avec des rails de 130 millimètres de hauteur, pesant 35 kilogrammes le mètre courant, ayant 6 mètres de longueur et reposant sur huit traverses ; agrandir les stations et augmenter les moyens d'exploitation. L'estimation de la dépense à faire s'élevait à 1.250.000 francs.

La dépense faite s'est élevée à 1.327.250 francs.

Si l'on compare les deux lignes au point de vue de l'utilisation de l'effort de traction, on trouve les résultats suivants :

Sur les rampes maxima du tracé, les machines remorquent les poids de trains suivants (y compris le poids propre des machines) :

En voie étroite, à la vitesse de	20	kilomètres	à l'heure,	75	tonnes
— —	25	—	—	60	—
En voie normale, —	20	—	—	130	—
— —	30	—	—	90	—

Les machines de la voie étroite étaient des machines-tenders à trois essieux couplés, développant 2.950 kilogrammes d'effort de traction, avec un poids maximum de 7T,10 par essieu ; les nouvelles machines pèsent 14 tonnes par essieu et donnent un effort de traction de 4.160 kilogrammes.

Les trains de voyageurs remorqués sur les rampes maxima présentent les rapports suivants entre le poids mort et le poids utile :

Voie étroite (vitesse de 20 kilomètres) : 20T,9 de poids utile, et 39T,1 de poids mort;

Voie normale (vitesse de 30 kilomètres) : 19T,6 de poids utile, et 70T,4 de poids mort.

Pour les trains de marchandises, la proportion s'établit comme suit, à la vitesse de 20 kilomètres :

Voie étroite : 51 tonnes de poids utile et 24 tonnes de poids mort ;

Voie normale : 81T,3 de poids utile et 48T,7 de poids mort.

G. H.

IX. — Électricité appliquée.

Elektrotechnische Zeitschrift (9 septembre 1897) : Trotter. — *Sur les troubles dans les câbles sous-marins occasionnés par le voisinage d'une ligne de tramways électriques.* — L'auteur rapporte

une série d'expériences, exécutées au Cap, pour déterminer la nature des troubles dans les transmissions par câble sous-marin, causés par l'établissement, dans le voisinage, d'une ligne de tramways électriques avec retour par la terre, et pour rechercher les moyens de les faire disparaître. Au cours de ces expériences, on a observé que les écarts ou « sauts » du « siphon recorder » étaient intimement liés aux variations du courant de la ligne de tramways ; le sens des écarts était différent suivant que le véhicule se mettait en marche ou qu'il s'arrêtait ; et enfin les écarts changeaient de sens au moment du passage de la voiture à hauteur de la station centrale, distante de 2 kilomètres de la tête de ligne de tramways et du bureau télégraphique, situés tous les deux sur la même place. Les « oscillations » atteignaient 2 à 3 millimètres ; parfois même, la pointe du siphon était lancée hors de la bande de papier, large de 16 millimètres. Pourtant, à cette époque, il ne circulait sur la ligne que cinq ou six voitures en tout, et la chute de tension dans les rails ne dépassait pas 1 volt.

D'abord on a cherché si, en prenant la terre télégraphique ailleurs que sur l'armature du câble, on n'arriverait pas à arrêter les troubles. Plusieurs essais avec des plaques enfouies à différentes distances du bureau (jusqu'à 19 kilomètres) n'ont pas donné de résultats.

Les tentatives faites pour annuler le courant induit dans le câble par un autre — égal et directement opposé — ont également échoué. Dans ce but, on a utilisé une ligne téléphonique de 6 kilomètres, longeant la ligne de tramways sur un parcours de 4 kilomètres, à une distance moyenne de 180 mètres. Pendant cette expérience, le siphon recorder était relié d'un côté à l'armature du câble d'abord, puis à son âme, et de l'autre à la ligne téléphonique dont l'extrémité était à la terre. Ni l'amplitude, ni le caractère des « oscillations » n'ont changé.

Pourtant, à première vue, il paraît possible de régler, à l'aide d'un rhéostat, la résistance de la ligne téléphonique, de telle façon que les courants induits dans cette ligne et dans le câble se fassent équilibre. La difficulté paraît résider dans l'impossibilité de trouver dans le voisinage immédiat un point du sol présentant un potentiel suffisamment stable.

Enfin, on s'est décidé à poser un tronçon de nouveau câble à côté et aussi près que possible de l'ancien. A la station d'atterrissement, les deux cables ont été réunis en Duplex. L'extrémité du nouveau tronçon, long de 9 kilomètres, avait été d'abord

soigneusement isolée ; les troubles continuaient de plus belle. Mais quand ensuite on a relié l'âme du tronçon nouveau à une plaque de cuivre plongée dans la mer, les écarts se sont considérablement affaiblis. Enfin, l'âme du tronçon ayant été soudée à son armature et la soudure protégée contre l'action de l'eau de mer, toute trace des troubles a disparu brusquement et définitivement.

Elektrotechnische Zeitschrift (16 septembre 1897) : Max Jehnke. — *Appareils pour la vérification de l'étanchéité des gaines isolantes des câbles.* — L'auteur préconise l'emploi et donne la description d'un petit appareil, inventé par lui, pour la vérification des conducteurs en place, au point de vue de l'étanchéité de leur enveloppe protectrice. Cet appareil consiste en un cylindre de bronze mesurant 12 centimètres de haut sur 10 de diamètre. A l'aide d'un bouchon, un tube de verre est fixé dans le couvercle dont l'extrémité se trouve à 2 centimètres du fond. Le cylindre est muni de deux robinets, l'un à 3 centimètres du fond, l'autre à 3 centimètres du couvercle. Le robinet inférieur communique avec une pompe à air, tandis que celui du haut peut être relié par un tuyau de caoutchouc avec une extrémité de la portion du câble à essayer, dont l'autre extrémité est hermétiquement fermée. Le cylindre étant à moitié rempli d'eau, on fait agir la pompe à air ; immédiatement, l'eau monte dans le tube de verre. On ferme ensuite le robinet de la pompe ; si l'eau descend, c'est un indice qu'il y a une fuite d'air ; il ne reste qu'à chercher le défaut qui se trouve généralement aux joints.

—— (30 septembre 1897) : Leo Silberstein. — *Installation des machines d'épuisement dans le delta du Memel.* — Le Memel, appelé « Niémen » sur son parcours en Russie, se jette dans le Kurische Haff par de nombreux bras en formant un vaste delta. Une plaine de 18.000 hectares, très basse, marécageuse, en partie boisée, est comprise entre le Russ, au nord, et la Gilge, au sud. Les crues ordinaires, qui atteignent à l'étiage + $1^m,8$, inondaient déjà certaines parties basses ; des crues plus fortes submergeaient la plus grande partie du pays et le menaçaient d'un désastre. Depuis longtemps déjà des digues défendaient le pays contre le débordement des flots du Russ et de la Gilge. Mais, à l'ouest, il n'existait aucune protection, du côté du Kurische Haff, lac d'eau douce de 1.621 kilomètres carrés de superficie, communiquant avec la mer par un étroit

chenal. Aux fortes crues de printemps, ce chenal devient insuffisant pour l'écoulement des eaux, le niveau du lac monte, et, avant l'exécution des travaux actuels, surtout par des vents du large, les eaux envahissaient la plaine. A la suite des crues de 1888 et 1889, particulièrement désastreuses, les propriétaires se sont constitués en société, au capital de 2.500.000 francs, pour l'achèvement des travaux de défense.

Construite sur les plans de l'ingénieur Danekwert, une digue de 30 kilomètres de longueur et de 2 mètres en moyenne de hauteur a complété le triangle avec celles du Russ et de la Gilge. Aux points de croisement de la digue avec les cours d'eau ont été installées neuf écluses.

Six roues Sagebien (une septième est prévue), mues par l'électricité, maintiennent les eaux du bassin ainsi fermé à un niveau déterminé.

Toute l'installation est remarquable au point de vue de l'économie, de la solidité des appareils et du rendement. Une station centrale, installée à Tramischau, dessert les sept roues élévatoires. Elle est pourvue de trois chaudières à double foyer, de 75 mètres carrés de surface de chauffe chacune, capables de fournir, d'après les essais, $7^{kg},7$ de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par kilogramme de charbon brûlé, sous pression de 8 atmosphères. L'alimentation des chaudières est assurée par une pompe Worthington, un économiseur réchauffe l'eau avant qu'elle n'arrive aux chaudières. Dans le bâtiment adjacent, deux machines à vapeur, de 240 chevaux chacune, sont accouplées directement à deux puissants alternateurs à trente-six pôles, de 160 kilomètres chacun, à fer tournant, ayant un rendement de 91 0/0. Ces alternateurs fournissent des courants triphasés, sous une tension étoilée de 2.900 volts par phase, soit 5.000 volts entre fils.

La vitesse angulaire est de 167 tours par minute, et la fréquence adoptée, 100 périodes par seconde.

Le courant d'excitation est fourni par deux dynamos à courant continu, marchant à 950 tours par minute et donnant 65 volts. Une d'elles est actionnée par un petit moteur synchronisé, branché sur les barres du tableau par l'intermédiaire d'un transformateur qui abaisse la tension à 200 volts. L'autre reçoit son mouvement d'une petite machine à vapeur indépendante et sert à exciter les génératrices avant leur mise en marche.

Les excitatrices possèdent un tableau de distribution spécial

qui permet leur couplage en parallèle. Sur le tableau principal, sept interrupteurs tripolaires permettent la mise en marche des réceptrices, qui sont toutes alimentées par des lignes séparées ; un huitième sert pour le couplage en parallèle des génératrices. Un transformateur réduit la tension de 5.000 à 120 volts ; Un indicateur optique de phases facilite le couplage des dynamos.

Toutes les parties métalliques neutres du tableau, ainsi que celles des génératrices, sont mises à la terre par l'intermédiaire du primaire d'un transformateur, dans le secondaire duquel est intercalé un voltmètre qui révèle toute dérivation à la terre.

La mise en marche des génératrices et réceptrices s'opère simultanément. Pour adjoindre une nouvelle réceptrice, il faut arrêter le tout.

La canalisation est aérienne. Les fils en bronze siliceux, de $3^{mm},5$ de diamètre, sont supportés par des isolateurs à triple cloche. Les poteaux sont munis d'appareils de mise à la terre automatiques des fils en cas de rupture ; le court-circuit franc fait fondre les plombs. Aux traversées des voies publiques, les fils doivent être à 8 mètres du sol au moins ; un filet métallique est tendu au dessous pour les recevoir en cas de chute. Chaque poteau est pourvu d'un paratonnerre, et chaque extrémité de ligne d'un parafoudre à condensateur.

Les moteurs à dix pôles, qui actionnent les roues élévatoires, reçoivent directement le courant triphasé sous 5.000 volts. Ils sont construits pour fournir 75 chevaux avec un rendement de 90 0/0. Normalement ils ne fournissent que 40 chevaux avec un rendement de 80 0/0.

Le mouvement des moteurs est transmis aux machines d'épuisement au moyen de roues dentées et de pignons avec une triple réduction de vitesse.

$$\frac{30}{440} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{35}{136} = \frac{1}{228}.$$

Le diamètre extérieur de la roue mesure 8 mètres, la largeur $1^{m},68$. Les aubes, au nombre de vingt-huit, sont en bois de chêne ; les joues sont en tôle de 7 millimètres d'épaisseur.

La vitesse périphérique normale est de $1^{m},1$ par seconde, et chaque roue élève $1^{m3},7$ d'eau par seconde à une hauteur de $0^{m},9$. Dans le cas extrême où la différence de niveau dans

les biefs atteindrait 1^{m},8, cette vitesse diminuerait de 10 0/0. D'ailleurs, dans ce dernier cas, il ne pourrait fonctionner que quatre roues à la fois.

Pour empêcher que l'eau ne s'écoule du bief supérieur pendant l'arrêt de la roue, une porte d'èbe à deux vantaux se ferme d'elle-même sous la poussée de l'eau. Des dispositions spéciales permettent la mise à sec des roues pour la visite et les réparations.

Le rendement de la transmission électrique seule en temps ordinaires est de 0,66, et — les roues comprises — 0,50. Dans les cas très rares où les moteurs fonctionneraient à pleine charge, ces chiffres seraient 0,76 et 0,55.

Cette belle installation, qui a coûté 625.600 francs, présente un bon exemple des avantages d'une transmission de force électrique ; il est d'ailleurs certain que le capital engagé ne tardera pas à être amorti par la plus-value des terrains ainsi asséchés.

A. B.

X. — Architecture.

Allgemeine Bauzeitung (1897, fascicule 3) : E. Ritter von Forster. — *La restauration des salles de réception du Ministère de l'Intérieur.* — Article, accompagné de trois grandes planches d'atlas en photogravure, donnant la description des travaux de restauration exécutés, d'août à novembre 1895 et de juin à septembre 1896, par l'architecte Émile Ritter von Forster, dans les trois salles de réception du Ministère de l'Intérieur, à Vienne, le salon de marbre, le salon jaune et le salon bleu.

—— (1897, fascicule 3) : W. Schulz. — *Quelques monuments d'architecture du territoire du Harz.* — Description, accompagnée de vingt-six reproductions photographiques, de divers monuments, dont la construction date de la période comprise entre le xe et le xvie siècle, et situés dans le Harz, région montagneuse de l'Allemagne du Nord.

Zeitschrift für Architektur und Ingenieur-wesen (1897, fascicule 6) : Waldow. — *Le nouveau jardin botanique de Dresde.* — L'article, accompagné de figures et de quatre planches d'atlas, donne le compte rendu de la construction des diverses parties

de cet établissement, comprenant: 1° le bâtiment de la direction; 2° le logement des jardiniers; 3° la grande serre des plantes; 4° la serre froide. La dépense totale de construction s'est élevée à 444.800 francs.

Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules 7 à 9 et 10 à 12) : Leidich. — *L'Église et le cloître de l'ancien couvent des Cisterciens à Pforta.* — Les deux articles, accompagnés de nombreuses figures dans le texte et de sept planches d'atlas, donnent la description complète de ce monument.

—— (1896, fascicules 7 à 9): *Le monument de l'empereur Guillaume à la porte de Westphalie.* — Description, avec une planche d'atlas, d'un monument élevé à l'empereur Guillaume et comprenant une énorme coupole de pierre portée par six piliers, situé sur un monticule et abritant une statue colossale de l'empereur.

—— (1897, fascicules 7 à 9) : Wittig. — *Les cuisines du Reichstag à Berlin.* — Description, avec figures et deux planches d'atlas, des cuisines et de la buvette du Reichstag. — Dépenses totales de l'aménagement (non compris la construction) : 42.500 francs.

G. H.

PÉRIODIQUES ANGLAIS.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Engineering News (16 septembre 1897): *Excavateur à vapeur de 60^{T},960.* — La « Great Northen Railway » vient de faire construire quatre excavateurs à cuiller de grande puissance. Chaque engin pèse 60^{T},960 et actionne une cuiller de 1^{m3},910 de capacité, qu'il remonte de 4 à 5 fois par minute. Dans les terrains faciles à attaquer, cette cuiller peut même être remplacée par une plus grande de 2^{m3},292 de capacité.

L'excavateur peut effectuer une coupe de 17^{m},07 de largeur et de 1^{m},22 de profondeur en contre-bas du rail; il remonte la cuiller à une hauteur de 4^{m},27 au-dessus du rail.

Engineering Record (25 septembre 1897) : *Nettoyage des viaducs métalliques au moyen d'un jet de sable.* — Les viaducs, si nombreux dans les villes américaines, pour supporter des voies ferrées urbaines, nécessitent un entretien particulièrement onéreux. La peinture est très rapidement altérée par les fumées et les gaz, et on a grand'peine à faire adhérer les nouvelles couches de peinture sur les fers qui portent encore des débris d'anciennes peintures.

On vient d'expérimenter, pour décaper d'une façon plus complète les surfaces métalliques de toute trace de peinture, l'emploi d'un jet de sable entraîné par de l'air comprimé.

L'appareil Tilghman, dont il est fait usage, donne un jet d'air, où les molécules d'air ont une vitesse de 457 mètres par seconde. Les particules de sable paraissent animées d'une vitesse de $76^m,20$ à $91^m,44$ par seconde. En dirigeant ce jet sur le métal, on peut nettoyer en une heure une surface de $7^{m2},85$.

On estime à 1/3 de mètre cube la quantité de sable nécessaire pour netttoyer 1 mètre carré de surface. Le sable employé est du sable de mer.

Le peinturage doit être exécuté aussi rapidement que possible après le nettoyage.

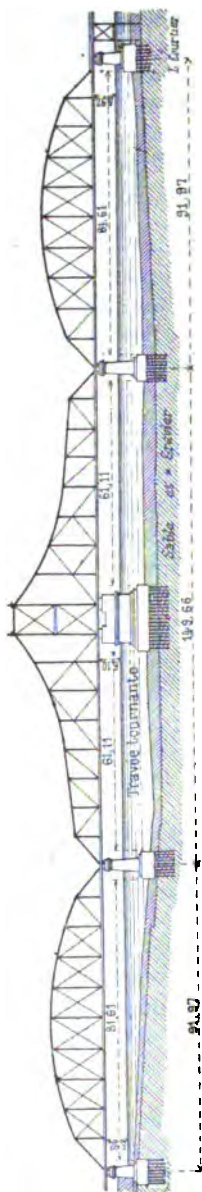
III. — Routes. — Ponts et Viaducs.

Engineering News (15 septembre 1897) : *Pont-levis de North Halsted Street, à Chicago.* — L'ouvrage a une longueur totale de $84^m,48$ et une largeur de $15^m,24$.

La partie mobile a une longueur de $53^m,64$, divisée en deux travées égales, et démasque une passe dont la largeur libre est de $33^m,22$. Le pont est calculé pour une charge uniformément répartie de 488 kilogrammes par mètre carré.

Chacune des travées se déplace en roulant sur une pièce cylindrique à axe horizontal, fixée à la culasse ; le mouvement est commandé par des moteurs électriques de 50 chevaux de force, placés sur chacune des deux rives. Le courant est fourni par la Compagnie des Tramways électriques, qui franchit l'ouvrage.

L'ouverture ou la fermeture du pont s'opère en cinquante secondes. Le verrou qui rend solidaires les deux travées lorsqu'elles sont en service, les coins de calage, et les portes qui



Pont tournant de Duluth.

ferment la voie, un peu en avant dans le pont, sont manœuvrés au moyen d'appareils à air comprimé, par le mécanicien préposé à la manœuvre des moteurs électriques. Le compresseur à air est commandé par un petit moteur électrique spécial.

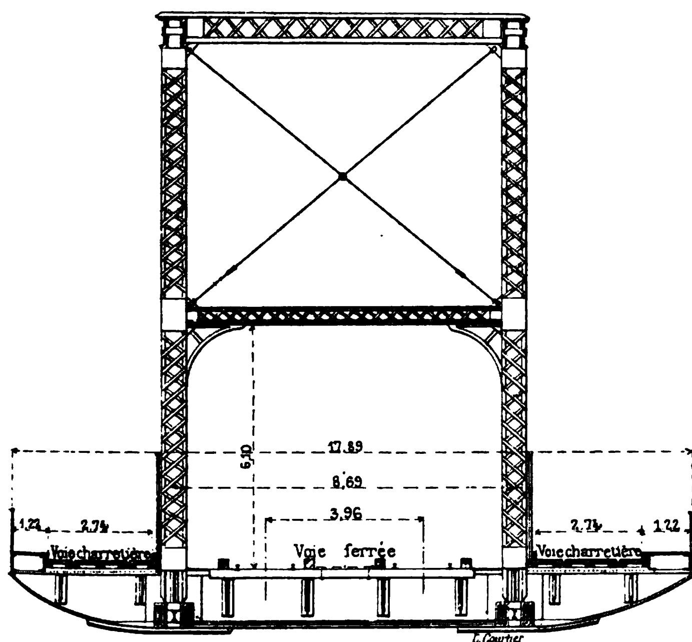
Le prix de revient de l'ouvrage est de 640.557 francs se décomposant ainsi :

Substructure.........	178.796 fr.	25
Superstructure.......	287.110	50
Machinerie...........	70.274	70
Équipement électrique	27.985	50
Surveillance et pont de service provisoire...	76.390	05
	640.557 fr.	00

Engineering Record (7 août 1897): *Pont tournant de Duluth.* — L'ouvrage a une longueur totale de 333^{m},60 et une largeur de 17^{m},89. Il comporte deux travées fixes de 91^{m},97 et une travée tournante sur pivot central de 149^{m},65, pesant 1.500 tonnes. Les deux passes démasquées par cette travée mobile ont une largeur libre de 61^{m},11. Au centre du pont se trouvent deux voies ferrées ; les voies charretières et les trottoirs sont placés en encorbellement sur les parties latérales.

La rotation s'opère sur une couronne de galets au moyen de deux pignons engrenant avec une roue dentée. La force motrice se compose de deux moteurs électriques de 50 chevaux, qui permettent d'effectuer la rotation en quatre-vingt-dix secondes.

Un dispositif permet de manœuvrer le pont avec un cabestan



à bras; dans ce cas, quatre hommes opèrent la rotation en dix-sept minutes.

L'ouvrage a coûté 5 millions.

Scientific American (8 mai 1897). — *Pont de Blackwell's Island à New-York*. — Ce pont franchit l'East River, au droit de Blackwell's Island et est composé de trois travées, à poutres Cantilever. Les deux travées de rive ont 257^{m},85, la travée centrale établie sur l'île a 186^{m},83. Avec les viaducs d'accès, la longueur de l'ouvrage est de 3^{km},218. Une hauteur libre de 41^{m},15 est réservée entre le niveau des hautes mers et le dessous des poutres. La largeur totale du tablier est de 29^{m},87.

Le cube des maçonneries entrant dans la construction des piles est de 29.051$^{m^3}$,190, et le poids des fers constituant la superstructure est de 36.576.000 kilogrammes d'acier. La dépense est évaluée à 40 millions.

Pont tournant de la 3e avenue sur la rivière de Harlem, à New-York.

Scientific American (17 juillet 1897): *Pont tournant de la 3e avenue sur la rivière de Harlem à New-York.* — Ce pont est le sixième qui a été établi depuis quelques années sur la rivière Harlem à New-York. La travée tournante sur pivot central a 91m,44 de longueur, sa largeur est de 26m,21 ; le poids total est de 2.540 tonnes.

Les poutres maîtresses sont au nombre de quatre et sont espacées de 6m,40 d'axe en axe ; entre les poutres centrales se trouve une double voie ferrée pour railways électriques ; sur les côtés sont deux voies charretières. Deux trottoirs pour piétons, de 2m,74 de large, sont placés en encorbellement sur les poutres de rive.

La rotation s'opère sur une plaque tournante de 18m,29 de diamètre par l'intermédiaire de 80 roues de 0m,61 de diamètre et de 0m,30 de largeur.

La machinerie de manœuvre est placée entre les poutres maîtresses, au centre du pont et au-dessus des voies.

La manœuvre du pont, qui n'exige qu'un seul mécanicien, s'effectue complètement en deux minutes.

La dépense totale de la construction s'élève à 7.500.000 francs, dont la moitié pour les approches de la travée tournante.

—— (2 octobre 1897) : *Développement de l'outillage pour l'exécution des chaussées d'asphalte.* — La construction des chaussées en asphalte prend aux États-Unis un grand développement, et la concurrence a amené une grande baisse de prix dans l'exécution des travaux.

Des entrepreneurs ont créé un matériel roulant, composé de deux grands wagons, qui constituent une véritable

usine mobile, susceptible d'être conduite d'une ville à l'autre pour l'exécution des travaux en asphalte. Cette usine roulante dessert un chantier dont l'avancement est de 1.250 à 1.500^{m},00 carrés par jour.

Scientific American (6 novembre 1897) : *Rapide changement d'un tablier métallique sur un chemin de fer en exploitation.* — La Compagnie du « Pennsylvania Railroad » paraît avoir établi le record de la vitesse pour la substitution d'un tablier métallique à un tablier hors d'usage sur une ligne en service. L'opération complète de l'enlèvement de l'ancien tablier et de la mise en place du nouveau n'a duré, en effet, que neuf minutes.

Il s'agit d'un pont, établi sur la rivière Schuylkill près de Philadelphie, dont la portée est de 73^{m},15 et la largeur de 7^{m},62.

Le poids du tablier à enlever était de 750 tonnes, et le poids du nouveau tablier de 950 tonnes.

Pour faire l'opération, le tablier nouveau a été monté sur un échafaudage parallèle au pont; de l'autre côté de l'ouvrage, on a disposé un échafaudage analogue pour recevoir l'ancien tablier.

Les deux tabliers, ayant été rendus solidaires, ont été ripés simultanément au moyen d'appareils hydrauliques.

La voie a été coupée après le passage d'un train : le ripage des deux tabliers a été fait en 2'28, et neuf minutes après le moment où l'ordre de couper les voies avait été donné, celles-ci étaient rétablies et donnaient passage au train d'épreuve.

IV. — Navigation intérieure.

Engineering (26 novembre 1897): *Bac à vapeur.* — Le nouveau bac à vapeur, dont la description est donnée, a 28^{m},05 de long, 11^{m},58 de large et 1^{m},47 de creux. Il se déplace en se halant sur des câbles en acier. Son fonctionnement est plus économique que celui des bacs construits jusqu'ici. Pendant un an, des expériences ont été faites, et la consommation de charbon n'a pas dépassé 2.472^{kg},600 par semaine, le service étant le suivant: 55 doubles passages par jour d'une rivière de 343^{m},80 de longueur avec un déplacement moyen de 202 tonnes.

Engineering News (2, 16, 23 septembre 1897) : *Travaux d'amélioration des canaux de l'État de New-York.* — On a commencé, en 1896, des travaux d'amélioration considérables sur les canaux de l'État de New-York : les travaux comprennent l'approfondissement de $730^{km},486$ de canaux (canaux Érie, Oswego, et Champlain), ainsi que la reconstruction des écluses et des ouvrages d'art entraînés par cet approfondissement.



La profondeur à donner aux canaux Érie et Oswego est de $2^{m},74$, sauf au passage des ouvrages d'art, où cette profondeur est réduite à $2^{m},44$; la profondeur à donner au canal Champlain est de $2^{m},13$; la longueur des écluses doit être portée à 67 mètres. La dépense est évaluée à 45 millions.

L'augmentation du tirant d'eau des écluses est obtenue soit en abaissant le radier, soit en surélevant les bajoyers, soit en combinant ces deux procédés.

Un certain nombre d'écluses ne peuvent être allongées, en particulier l'échelle de Cohœs, comptant seize écluses pour racheter une chute de $42^{m},68$, et l'échelle de Lockport comptant cinq écluses pour racheter une chute de $17^{m},37$. Un ascenseur va être établi à titre d'essai à Lockport, et, s'il donne satisfaction, des ascenseurs seront substitués en partie aux écluses restant à allonger.

Des détails très complets sont fournis au sujet de l'exécution même des travaux. Le texte est accompagné de nombreux dessins et photographies.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. III) : S.-S. Leach. — *La navigation intérieure aux États-Unis.* — L'auteur fait un tableau général des conditions que présente aux États-Unis le régime de la navigation intérieure. Le développement des voies navigables dépasse 42.485^{km},913.

Les sommes dépensées pour la création du réseau s'élèvent à 2 milliards 250 millions, dont un neuvième s'applique à des canaux abandonnés.

Une des caractéristiques des canaux américains est la grande dimension donnée aux écluses, tant au point de vue de la largeur que de la hauteur de chute. Parmi les écluses en construction, on peut citer des écluses de 27^{m},43 de largeur et 7^{m},31 de chute aux cascades de Colombia, de 7^{m},62 de chute à Bee Tree Shoals sur la rivière Tennessee.

Les barrages fixes, sur les rivières canalisées, comportent l'usage fréquent de « cribbs works », et les hausses Chanoine sont presque exclusivement employées dans les parties mobiles des barrages.

Les travaux d'aménagement des rivières ont comporté l'exécution de dragages nombreux opérés le plus souvent avec des dragues à cuiller dites « Clam shell », et surtout des travaux de régularisation et de défense de rives : des résultats particulièrement remarquables ont été obtenus de cette façon sur le Mississipi.

Les grands lacs, dont le littoral présente un développement de 7.563^{km},780 comportent 76 ports plus ou moins importants : ceux-ci sont généralement réunis aux fonds de 4^{m},50 à 5^{m},40 par un chenal compris entre deux jetées parallèles distantes de 45 à 90 mètres l'une de l'autre, et généralement faites en « cribbs works ».

Deux tableaux annexés au mémoire donnent les éléments des principaux canaux et rivières canalisées.

Scientific American (21 août 1897) : *Le bac porte-train « Pere Marquette ».* — Ce bac, destiné à transporter les passagers et les marchandises à travers le lac Michigan, est le plus grand des navires de ce genre actuellement à flot.

Il a 106^{m},68 de long, 17^{m},07 de large et 11 mètres de creux ; il est à deux hélices. Il présente les formes d'un bateau de mer, sauf du côté de la poupe qui ressemble à celle de tous les ferry-boats.

Il comporte quatre voies pouvant contenir 30 wagons de marchandises ou 60 voitures à voyageurs. Sa vitesse est de 16 nœuds.

Il est construit pour relier Ludington et Manitowoe, sur le lac Michigan et effectue un parcours de 96 kilomètres.

V. — Travaux maritimes.

Engineering (20 août 1897): *Drague à succion « Octopus » pour le Gouvernement de Natal.* — La longueur de la coque est de 65m,53, sa largeur de 11m,12, et le creux de 4m,80. L'élinde est placée en avant et au centre. Les pompes à sable, au nombre de deux, ont 0m,83 de diamètre et sont susceptibles d'aspirer 3.000 tonnes de sable par heure, en travaillant dans des fonds de 12 mètres.

Les casiers à sable peuvent contenir 1.300 tonnes. Les machines motrices consistent en deux machines à triple expansion pouvant donner à la drague une vitesse de 9 nœuds et demi.

—— (10 septembre 1897) : *Dock flottant de Saint-Paul-de-Loanda.* — Le dock flottant de Saint-Paul-de-Loanda a 60m,96 de long. Il comporte six pontons de soulèvement indépendants, de 9m,88 de longueur chacun, qui peuvent être séparés du reste de la construction et réparés successivement. La largeur, au niveau des tins, est de 15m,08.

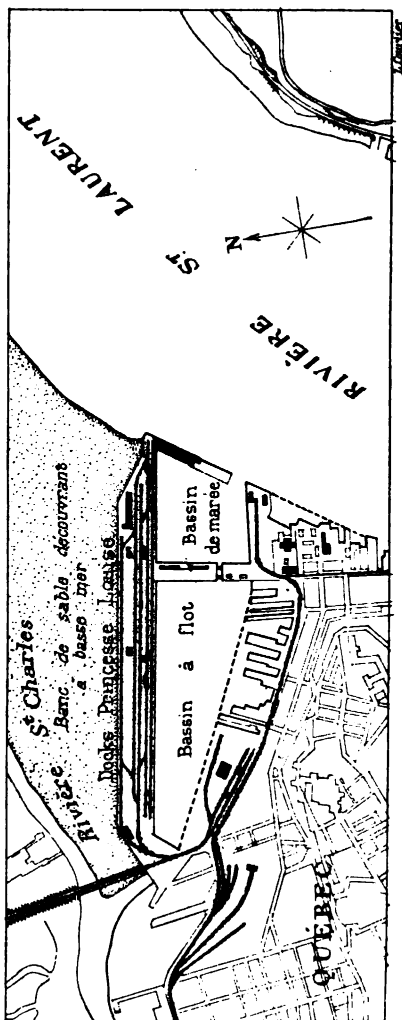
Le pouvoir de soulèvement est de 1.350 tonnes.

Il pourra être augmenté ultérieurement de 225 tonnes ou de 450 tonnes par l'adjonction de un ou deux pontons supplémentaires aux extrémités du dock flottant.

Engineering News (26 août 1897) : *Port de Québec.* — Le port de Québec a reçu ou expédié, en 1896, 600 navires. Le principal établissement du port consiste dans les docks de la Princesse-Louise, ouverts en 1890. Le bassin de marée qui communique avec le Saint-Laurent a 8 hectares de superficie et une profondeur de 7m,92 à 8m,23 à basse mer, avec un développement de quais de 871m,70. Le bassin à flot a une superficie de 16 hectares, une profondeur de 8m,33 et un développement de quais de 1.127m,72. Les portes s'ouvrent deux fois par vingt-quatre heures, pendant deux heures chaque fois. L'écluse d'entrée a

$20^{m},12$ de largeur ; on trouve, sur le seuil, $8^{m},84$ à haute mer de morte eau.

Les quais sont desservis par des voies ferrées ; l'outillage comprend des magasins, des élévateurs à grains et un magasin réfrigérant.



Les travaux actuellement en cours de construction, ou projetés pour compléter le port, comportent l'exécution d'un quai de $182^{m},87$ de long, présentant un mouillage de $9^{m},15$ à basse mer de vive eau au sud du bassin de marée, un quai de $853^{m},41$ sur la rive Sud de bassin à flot, un quai de $335^{m},27$ sur le Saint-Laurent au sud de l'entrée du bassin de marée, enfin une forme de radoub de $213^{m},35$ de long, avec une écluse d'entrée de $24^{m},38$ de large et de $8^{m},53$ de tirant d'eau en hautes mers moyennes.

Il existe déjà à la pointe Lévis une forme de radoub de $147^{m},52$ de longueur, avec écluse d'entrée de $18^{m},29$ de largeur.

Le quai Sud du bassin de marée, aujourd'hui en voie d'achèvement, est construit en Cribbs-Works ; il a $16^{m},45$ de hauteur, $12^{m},20$ de largeur à la base et $5^{m},48$ de largeur en crête. Son prix de revient est de 2.276 francs par mètre courant.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. III) : H.-F. Donaldson. — *Magasins pour la conservation des viandes congelées aux « London and India Docks »*. — Le commerce d'importation des viandes congelées provenant principalement d'Australie a pris naissance en 1881, époque où des magasins ont été établis d'abord à Victoria Dock, puis à East et West-India Dock, et s'est rapidement développée. Aujourd'hui la capacité des magasins de cette nature à Victoria Dock est de 26.236^{m3},792, susceptibles de contenir 264.744 carcasses de mouton, ce qui correspond à 1 mouton par 0^{m3},099, y compris l'espace perdu.

A West-India Dock, au magasin de 1.415^{m3},750 de capacité, construit en 1884, on a ajouté en 1895 un magasin de 10.720^{m3},427 de capacité. Un grand magasin de 10.355^{m3},276 de capacité a été de plus établi pour la vente aux grandes Halles de West-Smithfield.

Les magasins de Victoria Dock sont en bois; ils comportent deux étages de 3^{m},04 de haut et disposés de part et d'autre des machines à air froid.

Un système de voies ferrées très complet en dessert les différentes parties.

Le sol du rez-de-chaussée est couvert d'abord d'une couche d'asphalte posée sur béton, puis d'un double plancher en bois, entre les deux parties duquel sont deux épaisseurs de papier goudronné, enfin d'une planche supportée par des solives de 0,076/0,279, assemblées à languettes et rainures de 0^{m},032 d'épaisseur. L'espace compris entre les solives est rempli de charbon de bois.

Les parois latérales sont construites d'une façon analogue; partout le contact direct du bois sur bois est évité au moyen de plaques de feutre de 0^{m},032 d'épaisseur.

La toiture est en tôle ondulée et est séparée par un volume d'air assez grand des chambres de congélation. La matière isolante employée pour les portes est le coton silicaté; le charbon de bois serait en effet exposé à se tasser et à laisser, par suite de son tassement, des espaces vides.

L'étage supérieur est desservi par de petits ascenseurs, et l'établissement est éclairé à la lumière électrique.

Dans les derniers magasins construits à West-India Dock et à West-Smithfield, les parois extérieures sont en maçonnerie de brique ; l'emploi de briques creuses permet de conserver dans ce mur de l'air qui constitue un premier isolement. Une

paroi isolante est placée, en outre, contre ces murs, à une distance de $0^{m},063$, elle se compose d'un double coffrage en bois rempli de charbon de bois.

Pour les planchers et les plafonds, la matière isolante employée est du coton silicaté.

A West-India Dock, toutes les chambres de congélation sont situées au premier étage : les carcasses de mouton sont déposées par des grues hydrauliques sur des glissières inclinées à 17° environ et arrivent par leur poids sur des tables de recette dans la chambre froide.

Pour produire l'abaissement de température nécessaire, on comprime soit de l'air, soit un gaz, puis on détend le volume ainsi comprimé après l'avoir préalablement refroidi.

A Victoria Dock, on emploie à cet effet trois machines Harlem, susceptibles d'envoyer directement dans les chambres froides $15.290^{m3},100$ d'air froid par heure. L'air est comprimé à une pression de $24^{kg},412$ par centimètre carré, et refroidi dans des appareils à circulation d'eau analogues aux condenseurs tubulaires, puis détendu dans de grands cylindres. Il passe de là dans la « boîte à neige » où sa température est de — 54°, et il est distribué dans les chambres de façon à y maintenir une température variant entre — 6° et — 8°.

L'air des chambres est ramené par une conduite de retour aux appareils et passe dans des tubes de dessiccation, car il importe d'envoyer de l'air sec dans les chambres. En marche normale, le cycle, complet pour l'air, s'effectue en deux heures.

Ce procédé, qui a le grand avantage de renouveler constamment l'air, offre l'inconvénient de ne pouvoir être utilisé lorsque les chambres froides sont à un niveau assez différent des machines, le courant d'air froid ne pouvant se produire de bas en haut dans une canalisation.

A West-India Dock, on emploie des machines de la Vergne à ammoniaque qui refroidissent de l'eau salée qui est ensuite refoulée par une canalisation dans les chambres froides.

A West-Smitfield, on utilise des machines Y. et E. Hall à acide carbonique, liquide refroidissant également de l'eau salée.

Ces derniers procédés, outre l'avantage de pouvoir desservir des magasins à nombreux étages, demandent l'emploi d'une force moindre ; ils présentent l'inconvénient de pouvoir amener des avaries dans les marchandises, au cas de fuite dans la canalisation.

Des expériences comparatives ont permis de se rendre

compte que le prix de revient n'est pas très différent dans les trois établissements : on peut évaluer qu'il varie entre 25 à 28 centimes par 1.000 mètres cubes, refroidi de 1°.

VI. — CHEMINS DE FER. — TRAMWAYS. — AUTOMOBILES.

Engineering (13 août 1897) : *Voiture automobile électrique.* — La Compagnie Pope construit à Hartford (États-Unis) des voitures automobiles électriques, à accumulateurs qui paraissent avoir bien fonctionné. Ces véhicules pèsent de 680 à 771 kilogrammes, le poids des accumulateurs entrant dans le total pour 385 kilogrammes. La force du moteur est de 2 chevaux ; la vitesse en palier est de 20 kilomètres, avec une dépense d'électricité de 18 ampères, soit une tension de 80 volts. La voiture a un rayon d'action de 48 kilomètres, sans que les accumulateurs soient rechargés.

La dépense d'électricité, pour recharger les accumulateurs, est de 2 fr. 50.

—— (3 septembre 1897) : *Locomotives pour le chemin de fer à crémaillère de Sumatra.* — Le transport jusqu'à Emmahaven des charbons qui se trouvent dans l'intérieur de Sumatra a conduit à exécuter une ligne de chemin de fer dans le district très montagneux du Mont Barisan. La voie, qui est à l'écartement de $1^{m},067$, se développe suivant des courbes qui descendent à 150 mètres de rayon et avec des pentes atteignant 8 centimètres par mètre. Dans cette région, on a établi une voie à crémaillère sur une longueur de 30 kilomètres.

Les locomotives en usage pour les trains de marchandises remorquent des poids de 65 tonnes, sur les sections où la pente est maxima, à une allure moyenne de $12^{km},8$ à l'heure.

Leurs principales données sont les suivantes :

Diamètre des cylindres..................	$0^{m},34$
Course des pistons......................	$0^{m},50$
Nombre de tours par minute.............	185
Surface de chauffe......................	$80^{m2},42$
Surface de grille........................	$1^{m2},40$
Pression.................................	11 kil.
Diamètre des roues motrices............	$0^{m},983$
Poids de la machine en ordre de marche..	26.250 kil.
Capacité des boîtes à eau...............	2.200 lit.
Approvisionnement de charbon...........	2.100 kil.

Les locomotives, pour les trains de voyageurs, un peu différentes, sont à action directe et peuvent remorquer, à la vitesse de 24 kilomètres à l'heure, des trains pesant 50 tonnes, sur des rampes de 7 centimètres.

Engineering (17 septembre 1897) : *Voiture automobile à vapeur pour le transport des immondices.* — La ville de Cheswick vient de mettre en service deux voitures automobiles à vapeur pour le transport des immondices.

L'appareil moteur est placé dans une cabine à l'avant du véhicule ; à l'arrière se trouve une caisse à bascule susceptible de transporter 4^{m3},584 d'immondices pesant 4 tonnes.

Le prix de chacune de ces voitures est de 8.750 francs.

—— (29 octobre 1897) : *Chemins de fer japonais.* — Les renseignements statistiques donnés par l'*Engineering* sont tirés du rapport que vient de publier le Bureau impérial du chemin de fer japonais, pour la dernière année fiscale (avril 1895 à mars 1896), et du rapport supplémentaire de la légation de Tokio.

Durant cet exercice, 276^{km},748 de chemin de fer ont été ouverts à l'exploitation, ce qui porte la longueur du réseau japonais à 3.684 kilomètres, dont 954 kilomètres pour les lignes d'État et 2.730 kilomètres pour les lignes privées.

Pour le réseau d'État, le budget de 1897-1898 s'établit ainsi qu'il suit :

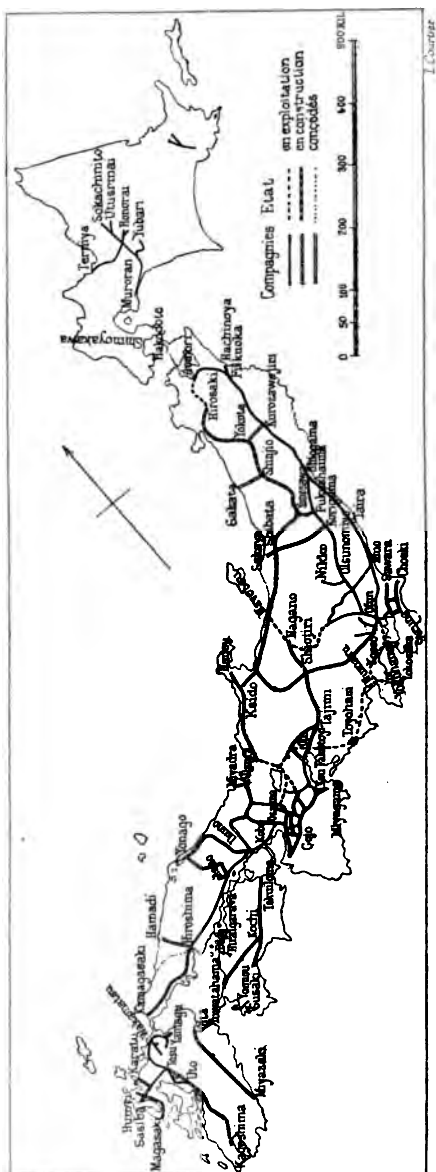
Recettes prévues...........	30.918.548 fr.	16
Dépenses..................	13.749.691	80
Intérêt du capital..........	2.498.343	64
Réserve....................	504.400	»
Recettes nettes............	13.661.112	72

En 1897-1898 on doit dépenser 32.349.716 fr. 52 pour exécuter des lignes nouvelles dont le prix d'établissement est évalué à 57.990 francs le kilomètre.

On a commencé, en particulier, les travaux destinés à mettre en double voie la ligne de Tokaïdo, estimés à 74.399.080 francs, et qui doivent être exécutés en sept ans.

La plus grande activité règne également parmi les Compagnies privées, dont le nombre croît rapidement.

Il y avait, à la fin de 1896, 52 Compagnies, dont le ca-



pital total s'élevait à 345.312.240 francs, et qui devaient exploiter 4.715 kilomètres de voies.

En outre, une concession provisoire était donnée à 42 lignes ayant une longueur de 2.508 kilomètres et correspondant à un capital de 178.489.011 francs.

Le Gouvernement a l'intention de doter Formose d'un réseau de voies ferrées, qui devront être établies par l'initiative privée et pour lesquelles a été votée une subvention de 6 0/0 du capital à dépenser, payable en quinze annuités.

Les usines anglaises ont eu jusqu'ici, à proprement parler, le monopole des fournitures à faire pour les chemins de fer japonais; mais les Américains leur disputent aujourd'hui ce marché et viennent de passer un contrat de 13.000 tonnes de rails.

De même, ils ont reçu récemment une commande de 60 à 70 locomotives.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. III) : M. E. Kernott. — *Construction de chemins de fer économiques dans l'État de Victoria.* — Dans la période de 1893-1896, l'État de Victoria a étendu son réseau dans le district de Mallée. Les voies, destinées au transport des produits agricoles, ont été établies avec la plus grande économie, en ajournant tous travaux non indispensables à la mise en exploitation.

On est parvenu ainsi à établir des voies à l'écartement de 1m,60 au prix de 31.350 francs par kilomètre, et même, sur certaines sections, à 21.945 francs par kilomètre ; la voie est en rails à champignon de 30 kilogrammes par mètre, posés sur traverses en eucalyptus.

Le cube des terrassements par kilomètre varie entre 1.614 et 2.944 mètres cubes.

Les ponts sont en bois, avec des ouvertures variant entre 3m,35 et 4m,57.

—— (1897, t. III) : J.-A.-F. Aspinall. — *Ateliers de construction de machines de la Lancashire and Yorkshire Railway à Horwich.* — L'auteur donne la description, avec dessins à l'appui, des nouveaux ateliers de construction de locomotives, élevées par la Lancashire and Yorkshire Railway.

—— (1897, t. III) : P.-L. Durn. — *Ateliers de construction de locomotives et de wagons à Saint-Rollox.* — Le développement rapide du trafic a conduit la Compagnie du « Caledonian Railway » à installer à Saint-Rollox, dans le nord-est de Glasgow, de nouveaux et considérables ateliers de réparation et de construction, tant pour les wagons que pour les locomotives.

L'article consacré à la description de ces ateliers est accompagné de dessins qui permettent d'en apprécier les dispositions générales.

The Railway Engineer (août 1897) : *Nouveaux wagons à charbon de la « Chesapeake and Ohio Railway ».* — Cette Compagnie a mis en service 100 wagons à charbon de grandes dimensions ; les uns peuvent porter un chargement de 27.215 kilogrammes, les autres de 36.287 kilogrammes. La caisse à charbon a 7m,82 de long, 2m,45 de largeur, 1m,52 de haut pour les premiers, et 2m,44 pour les seconds.

Deux trémies placées à la partie inférieure en permettent le déchargement facile. Ces wagons sont portés par deux bogies.

—— (Septembre et octobre 1897) : *Locomotives du type « Duke of*

Cornwall » pour trains express du « Great Western Railway ». — Il est donné une description complète de ces nouvelles machines, dont le nombre est de 40. Elles sont à bogies et pèsent 46 tonnes 3/4, non compris le poids du tender qui est de 24 tonnes.

The Railway Engineer (novembre 1897) : *Nouveau train, avec voitures à vestibule du « South Eastern Railway ».* — Cette Compagnie vient de faire établir un nouveau train composé de voitures à vestibule, analogues aux voitures américaines : chaque voiture portée sur deux bogies a 15^{m},24 de long. L'article en donne la description complète, avec de nombreux dessins.

—— (Novembre 1897) : *Locomotive* ***Dunalastan*** *pour trains express du « Caledonian Railway ».* – Cette machine, dont la spécification complète est donnée, est la première des 15 nouvelles machines, établies par M. Y.-F. Mac-Intosch, dans les ateliers de Saint-Rollox pour le « Caledonian Railway ». C'est une machine à bogie du poids de 74^{T},635, non compris le poids du tender qui s'élève à 39^{T},699.

Elle permet de remorquer des trains à 13 à 15 voitures pesant 200 tonnes, à l'allure de 97^{km},988 à l'heure ; la consommation de charbon est de 9^{kg},90 par train kilométrique.

—— (Décembre 1897) : *Chemins de fer de l'État de Victoria.* — Les résultats de l'exploitation de l'année financière qui s'est terminée le 30 juin 1897 sont satisfaisants. Le réseau exploité a une longueur de 5.034^{km},56, en augmentation de 10^{km},860.

Les recettes se sont accrues de 1.380.366 francs pour les voyageurs, de 3.219.383 francs pour les marchandises, de 565.482 francs pour les bestiaux, et enfin de 275.141 francs pour les messageries. Les dépenses d'exploitation ont été de 39.439.162 francs, et les recettes nettes de 26.535.702 francs, auxquelles on doit ajouter 504.100 francs représentant les services rendus à d'autres départements de l'État.

Le rapport des dépenses d'exploitation aux recettes totales a été de 59,78 0/0. En tenant compte de l'intérêt du capital engagé, le déficit de l'exploitation se traduit, pour 1897, par une somme de 9.465.646 francs seulement, en diminution de 5.253.376 francs sur le déficit du précédent exercice.

Scientific American (15 mai 1897) : *Locomotive à 12 roues pour le Brésil.* — Les ateliers des « Brooks Locomotive Works »

viennent de livrer, pour le Brésil, une locomotive très puissante reposant sur 8 roues couplées et sur un bogie placé à l'avant.

Le poids total est de 77^T,110, dont 64^T,410 pèsent sur les roues motrices, le tender pèse 37^T,194.

Cet engin peut remorquer, en outre de son propre poids, 5.154 tonnes, à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, **en palier.**

Street Railway Journal (octobre 1897) : C.-E. Emery. — *Machinerie des stations centrales d'électricité desservant un réseau de tramways.* — L'auteur indique les principes généraux qui sont applicables à l'installation des machineries établies dans les stations centrales de force motrice desservant un réseau de voies ferrées, et passe ensuite en revue les types les plus importants des machines actuellement en usage.

— (Octobre 1897) : *Développement du réseau des tramways aux États-Unis.* — Des renseignements statistiques très complets sont donnés au sujet du développement du réseau des tramways aux États-Unis.

La longueur du réseau a passé de 13.069 kilomètres, en 1890, à 25.290 kilomètres en 1897. Le mode de traction à ces deux époques se répartit ainsi qu'il suit :

	1890 Kilomètres	1897 Kilomètres
Traction animale........	9.108	397
Traction électrique.......	2.030	22.147
Traction funiculaire......	785	867
Divers..................	1.143	751

Le capital engagé dans les différentes entreprises qui était de 1.881.725.315 francs, en 1890, atteint 7.665.920.328 francs en 1897. Il correspond maintenant à une somme de 303.090 francs par kilomètre de voie, alors qu'en 1890 il n'était que de 144.000 francs par kilomètre de voie.

De 1896 à 1897, le réseau s'est accru de 8 1/2 0/0 de sa longueur, et le nombre des voitures en circulation a augmenté de 7 0/0.

Dans certains États, tels que la Californie, les Massachussetts, l'État de Washington, il y a 1.000 kilomètres de voie par 930 habitants ; les États où le développement des voies est le plus faible, sont la Caroline du Nord, où il n'y a que 1.000 kilo-

mètres de voie par 23.300 habitants et le Mississipi, où il n'y a que 1.000 kilomètres par 40.000 habitants.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897, t. III) : J.-E. Worth et W.-S. Crimp. — *Égouts collecteurs de Londres.* — Les égouts de Londres se déversaient autrefois directement dans la Tamise. Pour remédier à l'inconvénient que présentait cet état de choses, des collecteurs furent établis pour aller jeter les eaux d'égout à $22^{km},530$ environ à l'aval du pont de Londres, ce qui entraîna une dépense de 115 millions.

On reconnut bien vite que l'on n'avait fait que déplacer le mal, et que cette manière d'opérer était contraire à la salubrité de la capitale. A la suite des travaux d'une Commission spéciale, on décida, en 1887, de purifier les eaux d'égouts avant de les jeter dans la Tamise.

Cette purification a lieu pour la zone Nord à l'usine de Barking : les eaux sont amenées dans 13 canaux de décantation de $262^{m},12$ à $368^{m},80$ de long, de $9^{m},14$ de large, de $2^{m},44$ de profondeur, susceptibles de contenir $92.305^{mc},405$, couvrant une superficie de $4^{ha},45^{a},17$ et recouverts par des voûtes en briques.

Avant d'y arriver, les eaux d'égout sont additionnées d'eau de chaux, à raison de $0^{gr},057$ par litre, et de protosulfate de fer, à raison de $0^{gr},014$ par litre.

Les dépôts laissés par les eaux ainsi traitées sont chargés au moyen de pompes dans des porteurs à vapeur à clapets, qui vont les décharger à l'entrée de la Tamise. Les porteurs en service sont au nombre de 6. Les plus grands ont $70^{m},737$ de longueur, $11^{m},63$ de largeur, $4^{m},16$ de creux ; leur machine développe 1.250 chevaux et leur donne une vitesse de 10 nœuds ; leur prix est de 668.424 fr. 45; leur port en lourd est d'environ 1.000 tonnes de boue.

Les clapets permettent à la décharge de s'effectuer en six minutes au maximum; mais, en fait, la décharge prend une heure, afin de permettre de répartir les matières déchargées sur une grande surface.

Une installation analogue, quoique un peu différente dans

quelques-uns de ses détails, a été ensuite exécutée sur la rive droite de la Tamise, à Crossness.

En outre des renseignements relatifs à ces deux stations, qui sont fort complets et qui comprennent de nombreux prix de revient, les auteurs décrivent les installations accessoires qui ont été exécutées en divers points de la capitale.

Les dispositions prises permettent de purifier chaque année 340.762.500 mètres cubes d'eau d'égout et de transporter en mer 374.904 tonnes d'immondices, qui encombraient auparavant les fonds de la Tamise, et d'éviter pratiquement toute pollution nuisible des eaux du fleuve.

Les travaux occupent 460 ouvriers sur la rive Nord, 310 à la station Sud; le matériel naval exige 150 marins.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers : W.-G. Dibdin. — *Purification de la Tamise.* — Ce mémoire complète les indications données par M. Worth et Crimp, au sujet de la purification des eaux de la Tamise, en insistant particulièrement sur les résultats obtenus ; il est accompagné de tableaux donnant le résultat des analyses effectuées en Tamise de 1885 à 1895.

H. D.

IX. — Électricité appliquée.

The Electrician (24 septembre 1897) : Th. Hesketh. — *Notes sur l'arc électrique.* — L'auteur rappelle les résultats expérimentaux de divers auteurs, notamment de A. Blondel, qui montrent l'opportunité de réduire le diamètre du charbon et y ajoute ses propres observations. Il conclut à la nécessité d'un type nouveau de lampe à arc permettant de brûler des charbons plus longs pour compenser l'usure plus rapide, et il calcule que le bénéfice de lumière ainsi réalisé est de 61 0/0 par rapport à la pratique actuelle ; ce bénéfice serait acquis au prix d'une petite augmentation de main-d'œuvre, car l'on serait obligé de remplacer le charbon plus souvent.

Un agent et son aide visitent 80 lampes par jour, au prix de 30 et 40 shillings par semaine respectivement, ce qui fait 0 fr. 10 par lampe. Pour un service de 1.000 heures, une lampe munie de crayons de 18^{m},12 consommera 17^{m},4 de chaque

crayon, tandis qu'il faudra 27m,6 de crayon de 14/9 millimètres. Ces chiffres doivent être augmentés de 1/4 pour tenir compte des bouts non brûlés (5 centimètres pour un crayon de 20 centimètres). On consomme ainsi pour 10 fr. 40 dans le premier cas et 19 francs dans le second. Pour le personnel, les frais seraient dans le premier cas 55 visites = 11 francs, et dans le second 64 visites = 12 fr. 80. Ce qui fait au total 27 fr. 40 et 31 fr. 80; la différence est insignifiante, eu égard à l'augmentation de lumière obtenue.

L'auteur espère qu'en présence de ces chiffres les ingénieurs des municipalités se décideront à essayer d'améliorer le mode actuel d'emploi des lampes à arc pour l'éclairage public.

The Electrician (8 octobre 1897): Anonyme. — *Station centrale municipale de Hammersmith.* — Description détaillée et très illustrée de la station centrale municipale de Hammersmith. Les dépenses totales de l'installation : canalisations, usines, matériel électrique et à vapeur, sous-stations, etc., s'élèvent à 97.500 francs. Le système de distribution adopté est le système à courant alternatif à 2.200 volts avec transformateurs ramenant la tension à 110 volts au lieu d'utilisation.

Les chaudières comprennent deux générateurs Babcok et Wilcox et une Lancashire. Un troisième générateur Babcok sera installé prochainement ; la chaudière Lancashire sert uniquement pour le service de jour. Les moteurs à vapeur compound, directement accouplés aux dynamos sont du type Mac Laren; ils conduisent chacun un alternateur Ferranti de 125 kilowatts à 150 tours par minute. Un quatrième moteur beaucoup plus petit, du type Bellis à grande vitesse, conduit un petit alternateur Ferranti de 25 kilowatts pour le service de jour.

La plus grande partie de l'énergie électrique est employée à l'éclairage public, lequel est assuré par trois « rectificateurs » Ferranti de 100 lampes chacun. Sept sous-stations sont actuellement en fonction ; toutes, sauf celle du Town Hall, placées dans les sous-sols de cet édifice, sont installées sur la chaussée.

Les lampes à arc Brokie-Pell, de 1.200 bougies, sont portées à environ 6 mètres du sol par des mats munis, en outre, de deux lampes à incandescence (à 4 mètres), qui s'allument automatiquement en cas d'extinction de l'arc.

Le système d'abonnement adopté est celui de M. Wright; les échelles admises sont : 1° de 0 fr. 60 par unité (kilowatt-

heure) pour deux heures d'éclairage maximum par jour, 0 fr. 42 par unité en plus ; 2° 0 fr. 26 par unité et une charge fixe de 1 fr. 57 par trimestre et par lampe.

The Electrician (8 octobre 1897) : ANONYME. — *Règlement pour les canalisations d'éclairage électrique.* — Courte analyse d'un récent règlement allemand pour l'établissement des canalisations électriques dans les locaux où existent déjà des canalisations d'eau et de gaz.

— (12 novembre) : ANONYME. — *L'automobile électrique d'Elieson.* — Courte description illustrée. La caisse est disposée sur un truck très léger qui constitue le point original de l'automobile ; il est construit en tube d'acier Mannesmann ; le moteur est suspendu vers le milieu du truck et commande les roues d'arrière par chaîne. L'énergie électrique est empruntée à une batterie d'accumulateurs du genre Planté, placée dans la caisse de la voiture.

— (12 novembre 1897) : ANONYME. — *Les lampes en vase clos Davy.* — Ces lampes sont construites pour courants continu ou alternatif. Les lampes à courant alternatif consomment de 4 à 12 ampères avec 65 à 70 volts ; les lampes en série sont placées directement sur 110 volts sans aucune bobine de self-induction, lorsque la fréquence dépasse 83 périodes ; l'auteur donne la courbe photométrique d'un arc de 8,4 ampères, 71 volts. Les lampes à courant continu consomment de 2 à 8 ampères et sont enroulées à volonté en série, en shunt ou en différentiel. Le voltage varie de 65 à 70 volts, et l'arc a environ 7 millimètres de longueur.

Ces lampes sont très simples de construction : un plongeur de solenoïde porte directement le charbon supérieur, lequel glisse entre deux galets. Quelques-unes de ces lampes sont employées à la station centrale du Havre.

— (19 et 26 novembre 1897) : H.-W. RAVENSHAW. — *Treuils et grues électriques.* — Reproduction d'une communication intéressante faite par l'auteur aux ingénieurs civils de Londres sur les applications de l'électricité aux appareils de levage et les principales solutions employées.

L'auteur étudie d'abord les treuils en examinant la question du moteur, qui peut être d'un type quelconque, à condition de n'avoir pas de décalage ni d'étincelles pour les différentes charges ; puis celle de la transmission du mouvement : treuils Easton, Anderson et Goolden, treuil Sprague. Vient enfin

l'étude du démarrage et du réglage de la vitesse. L'auteur donne les courbes de consommation d'énergie d'un cabestan Otis en fonction de la charge.

Pour les grues électriques, les différents mouvements doivent être commandés par des moteurs séparés, et la transmission doit être aussi simple que possible. L'auteur indique les résultats d'essais d'une grue de 20 tonnes installée par MM. Easton, Anderson et Goolden dans l'arsenal de Woolwich. Cette grue est actionnée au moyen d'une vis sans fin par un seul moteur, tournant à neuf cents tours sous une différence de potentiel de 310 volts. Le rendement du moteur est de 92 0/0 pour un travail de 48 chevaux sur l'arbre et de 81 0/0 pour un travail de 12 chevaux.

The Electrical World (21 août, 11 et 25 septembre 1897) : G.-W.-D. Ricks. — *Essais sur la variation des constantes de quelques compteurs avec la température et le courant.* — Étude expérimentale des principaux compteurs, présentée à la réunion annuelle de l'Association britannique à Toronto, par le professeur Ayrton : Méthode employée, résultats des essais faits sur les compteurs Elihu Thomson, Schuckert, Ferranti, Ferry, Chamberlain et Hookham.

—— (11 septembre 1897) : J.-B. Talbot. — *Le tramway souterrain de Boston.* — Description du tramway électrique souterrain en construction en ce moment à Boston. La ligne comprend une artère à double voie, divisée seulement dans le voisinage du terminus sud. Les tunnels sont entièrement en maçonnerie. Des caniveaux placés entre les deux rails de chaque voie conduisent les eaux d'infiltration dans des puisards, où elles sont reprises par des pompes électriques.

La ligne est à trolley avec retour par les rails, mais, pour éviter les effets de l'électrolyse sur les canalisations voisines, les voies sont reliées électriquement par des conducteurs de forte section à des feeders de retour.

Le poids par mètre courant des rails de roulement est de 38 kilogrammes au mètre courant ; celui des contre-rails de 20 kilogrammes.

L'éclairage du tunnel est fait par arcs clos, montés par cinq en série sur la ligne à 500 volts, et par des lampes à incandescence, également disposées en série. Les lampes de chaque série sont alternées de façon à éviter les cas d'extinction complète

dans une portion du tunnel. L'éclairage des gares est fait par des lampes à incandescence alimentées séparément.

L'aération des tunnels est assurée par des ventilateurs électriques répartis en différents points dans des cheminées d'appel.

Les stations centrales seront au nombre de deux, dont l'une servant de réserve. Le tableau de distribution unique est placé dans un local spécial établi au milieu de la ligne sur un des quais ; de ce tableau le courant est réparti entre les différents feeders, les moteurs et l'éclairage. Les communications de la salle du tableau aux stations se font par téléphone.

Les travaux sont très avancés, les parties achevées sont munies de leur fil de travail, et des locomotives électriques sont employées au transport des matériaux.

The Electrical World (25 septembre 1897) : J. Sachs. — *Quel est le meilleur mode de protection à employer sur le circuit des moteurs ?* — Coupe-circuits mécaniques ou plombs fusibles ? — L'auteur montre que ces modes de protection ont chacun leurs cas d'emploi, leurs avantages et leurs inconvénients. Les plombs fusibles sont particulièrement convenables pour les installations où le courant de démarrage a une valeur assez grande par rapport au courant normal ; pour les moteurs qui, au contraire, n'ont pas à supporter de charge anormale, le coupe-circuit électromagnétique est tout indiqué.

—— (2 octobre 1897) : Anonyme. — *Le transport d'énergie électrique des rapides de Lachine à Montréal.* — Courte description de cet important transport, un des plus considérables des États du Canada. L'installation hydraulique comprend soixante-douze turbines noyées de 300 chevaux de la « Stillwell Bierce and Smith Vaile C° » de Payton (Ohio), d'un diamètre de 1^m,45. Ces turbines sont partagées en groupes de six ; les six turbines d'un même groupe attaquent par l'intermédiaire d'un pignon un seul arbre de transmission et sont commandées par un régulateur unique à relai. La vitesse est de 83 tours par minute et la hauteur de chute, de 5 mètres environ. Les douze dynamos à courants alternatifs triphasés d'une puissance de 750 kilowatts chacun, sous 4.400 volts, à 175 tours par minute et 60 périodes par seconde, sont réparties dans trois salles différentes ; chacune est pourvue de son excitatrice, dynamo compound de 40 kilowatts commandée par courroies ; quatre des alternateurs sont en service actuel-

lement. Les tableaux de distribution définitifs ne sont pas encore installés ; la ligne aérienne, d'une longueur de 9 kilomètres, est placée sur isolateurs en porcelaine du type adopté au Niagara.

Trois sous-stations fonctionnent à Montréal. L'une, celle de la « Citizens Electric Light C° », comprend trois transformateurs de 150 kilowatts, ramenant la tension à 2.000 ou 1.000 volts en courants alternatifs triphasés et diphasés ; ces appareils alimentent environ 2.500 lampes.

Une seconde sous-station comporte un transformateur de 200 kilowatts de la « Walker Company » de Cleveland, fournissant du courant continu à 250 volts.

La troisième, affectée à l'éclairage à arc, comprend un moteur synchrone de 200 kilowatts conduisant une dynamo à arc de 125 foyers.

En dehors de ces stations, les courants alternatifs sont distribués directement par transformateurs isolés, ramenant la tension à 104 et 52 volts, ce dernier voltage étant celui que la Compagnie a l'intention d'adopter.

The Electrical World (9 octobre 1897) : Anonyme. — *Transport d'énergie de Bakersfield.* — Cette installation, qui utilise en partie une chute de 6.000 chevaux, comprend actuellement deux groupes générateurs formés chacun de deux turbines Girard, montées sur le même arbre, tournant à 257 tours par minute et actionnant directement un alternateur triphasé de 450 kilowatts, sous 550 volts et à 60 périodes par seconde. L'excitation de chaque alternateur est assurée par une dynamo à 125 volts commandée par courroie. Les courants sont ensuite élevés à 11.500 volts, et transmis à Bakersfield et à Stockdale ; la longueur totale des lignes est de 40 kilomètres. La distribution est faite par sous-stations, munies chacune d'un ventilateur.

—— (9 octobre 1897) : Anonyme. — *Le transport d'énergie électrique de la « Chambly Manufacturing Company ».* — Courte description, avec photographies, de l'usine qui utilise les rapides de la « Richelieu River », à environ 40 kilomètres de Montréal et près du village de Richelieu (Québec).

Les turbines, d'un diamètre de $1^{m},20$, sont disposées par groupes de quatre montées sur un même arbre, et capables de développer ensemble 264 chevaux à 153 tours par minute. Leur régulation est assurée par un régulateur électrique de

Giessler, semblable à ceux employés dans l'installation de Lachine mentionnée plus haut (Voy. p. 293).

L'installation comprendra huit groupes et deux turbines de 375 chevaux destinées à commander les excitatrices; 4 séries seront installées pour le 1er janvier prochain.

Les alternateurs, directement accouplés, peuvent donner 2.000 kilowatts à 12.000 volts, la fréquence est de 50 périodes par seconde. Ils sont du type Stanley à fer tournant, construit par la « Royal Electric C° » de Montréal; le diamètre de l'inducteur est de 3m,05.

La ligne est portée par des isolateurs en porcelaine analogues à ceux employés au Niagara.

La station réceptrice principale, située à Montréal, consomme 6.000 chevaux. Les alternateurs diphasés assurant autrefois l'éclairage ont été rebobinés et fonctionneront comme moteurs synchrones, directement branchés sur les lignes à 20.000 volts; ces moteurs conduiront les dynamos à courant continu de la station. En outre, un groupe de transformateurs, de 150 kilowatts chacun, abaissent la tension de 12.000 à 1.000 et 2.000 volts diphasés, tension sous laquelle l'énergie est distribuée dans les circuits existants.

The Electrical World (9 octobre 1897) : ANONYME. — *La transmission électrique de Mechanicsville* (*N.-V.*). — Courte description de l'installation faite à Mechanicsville, par l' « Hudson River Electric Power Transmission C° ». Les turbines, d'une puissance de 250 chevaux chacune, seront au nombre de 28, attelées par quatre sur sept alternateurs à courants triphasés de la « General Electric C° ». Quatre de ces groupes sont actuellement en service.

Les excitatrices sont conduites par deux petites turbines spéciales.

La plus grande partie de la puissance est transmise à Schenectady, située à 39 kilomètres de la station génératrice et à différents centres industriels voisins de Mechanicsville.

—— (9 octobre 1897) : H.-R. LEYDEN. — *Transmission d'énergie électrique de Trois-Rivières* (*Québec*). — Remplacement de l'ancienne usine génératrice à vapeur de Trois-Rivières, comprenant deux alternateurs, l'un de 750 lampes, l'autre de 1.500 et deux dynamos pour arcs, l'une de 35, l'autre de 50 foyers, par une station hydraulique installée sur les bords du Batiscan à 27 kilomètres de la ville.

Sur les 3.000 chevaux disponibles, 100 seulement sont utilisés à l'aide de deux turbines de 0m,51 de diamètre, fonctionnant sur une chute de 15 mètres. Elles sont du type Crocker et ont été construite par la « Jenckes Machine C° » de Sherbrooke.

Les alternateurs diphasés Stanley de 240 kilowatts couplés directement, construits par « Royal Electric C° » de Montréal, fournissent leurs courants sous une tension de 2.400 volts à la fréquence de 270 périodes par seconde, fréquence adoptée pour conserver les anciens appareils d'utilisation.

La tension est élevée à 12.000 volts par 8 transformateurs Stanley, de 60 kilowatts, quatre sur chaque phase; à Trois-Rivières elle est ramenée à 1.100 volts. Un ancien alternateur à courant monophasé fonctionne comme moteur synchrone sur une des phases de la ligne et commande les machines à arcs. Un petit moteur d'induction à courants diphasés est employé pour amener le moteur synchrone à la vitesse du synchronisme.

The Electrical World (16 octobre 1897) : Anonyme. — *Le transport d'énergie d'Ogden.* — L'usine de la « Pioneer Electric Power C° » comprend comme matériel hydraulique dix turbines à axe horizontal, de 1.200 chevaux chacune, à 300 tours par minute; quatre de ces moteurs sont actuellement en fonction; munies de régulateurs Knight, ces turbines portent deux volants de 2 tonnes chacun, ce qui porte à 15 tonnes le poids de la partie tournante. Chacun est accouplé directement avec un alternateur à courants diphasés de la « General Electric C° » d'une puissance de 750 kilowatts à 2.300 volts, 300 tours et 60 périodes par seconde. Les excitatrices commandées par des turbines spéciales ont chacune une puissance de 100 kilowatts à 500 volts et 550 tours. Les courants à 2.300 volts sont transformés à 16.000 volts par 9 transformateurs de 250 kilowatts.

La ligne double a 61 kilomètres; les courants sont envoyés à Salt Lake City, où la tension est ramenée à 2.300 volts, à Ogden et dans différentes usines situées à environ 50 kilomètres de Salt Lake City. La ligne actuelle permet de transporter environ 3.000 chevaux, avec une perte de 10 0/0; dans l'avenir, la tension sera portée à 27.000 volts, en disposant les transformateurs deux par deux en série, ce qui permettra de quadrupler la capacité de l'installation.

—— (16 octobre 1897) : C.-T. Child. — *La traction électrique, pour le service suburbain de Philadelphie sur les lignes de la « Pensylvania Railroad Company ».* — Projet hypothétique d'une

application de la traction électrique, sur les lignes de la « Pensylvania Railroad C° », pour assurer le service de la banlieue de Philadelphie. Les sections à alimenter sont au nombre de neuf, comprenant un développement de 258 kilomètres avec 159 stations.

La station centrale distribuerait l'énergie sous forme de courants triphasés à 5.000 volts, transformés en courants continus par des transformateurs rotatifs disposés dans des sous-stations comportant chacune une batterie d'accumulateurs et un survolteur.

Description succincte de l'installation électrique, du matériel roulant ; étude du problème financier.

The Electrical World (23 octobre 1897) : C. Hewitt. — *Application des accumulateurs à la traction électrique.* — Résumé d'un mémoire lu à l'Association de l' « American Street Railway » (Niagara Falls), en octobre. Étude des principaux cas où les accumulateurs sont employés à la traction. L'auteur divise son sujet en trois parties : emploi des accumulateurs sur les voitures ou les locomotives électriques, emploi à l'extrémité des lignes ou à une certaine distance de la station génératrice, emploi de la batterie à la station génératrice elle-même.

L'auteur donne le schéma des connexions avec les sous-stations de l' « Union Traction C° » et quelques chiffres sur l'installation du Chestnut Hill, avec batteries sur la ligne.

—— (13 novembre) : G.-P.r Low. — *Utilisation des eaux des Lacs Bleus.* — Le transport d'énergie des Lacs Bleus, entrepris par la « Blue Lakes Water C° », comprend trois turbines de 700 chevaux à 600 tours, accouplées directement chacune à un alternateur à courants diphasés Stanley, de 450 kilowatts à 2.400 volts et 60 périodes par seconde ; chaque arbre commun est en outre muni d'un volant de 4.500 kilogrammes ; le poids de la partie mobile de chaque groupe est de 10.000 kilogrammes environ. Deux excitatrices commandées par courroies fournissent le courant d'excitation nécessaire aux trois alternateurs.

Deux lignes partent actuellement de l'usine, l'une d'elles sera continuée jusqu'à Stockton à 63 kilomètres. Le voltage sera alors élevé à 11.000 volts ; l'énergie électrique sera également distribuée dans différentes mines dans le voisinage de « Blue Lakes City. »

The Electrical World (13 novembre) : C.-P. Steinmetz. — *La transmission d'énergie électrique de Mechanicsville-Schenectady.* — A propos de cet intéressant transport, décrit plus haut, l'auteur donne les raisons de diverses dispositions adoptées. La fréquence de 40 a été admise comme convenant mieux à la fois à l'éclairage à arc, aux moteurs d'induction et aux convertisseurs. Les alternateurs de 750 kilowatts sont identiques à ceux du transport de Lachine (voir p. 293), mais ils sont enroulés directement à 1.200 volts, de façon à supprimer les transformateurs.

La ligne est disposée de façon à avoir une self-induction assez grande, ce qui, d'après l'auteur, est à rechercher dans les transmissions où la puissance est utilisée par des moteurs synchrones et des convertisseurs. Lorsque les lignes n'ont pas une self-induction suffisante, il faut l'augmenter artificiellement en insérant des bobines de réaction; tel est, du reste, le cas du transport de Saint-Antony Falls, où la puissance est utilisée par des transformateurs tournants de 600 kilowatts.

La station réceptrice de Schenectady, dans les ateliers de la « General Electric C° », comprend deux moteurs synchrones de 500 et 100 kilowatts respectivement et trois convertisseurs de 400 kilowatts. Le premier, bobiné pour 10.000 volts à 400 tours, conduira une dynamo pour tramways à 550 volts, le second une dynamo à courant continu pour l'excitation des différentes machines de la station réceptrice, de façon à rendre cette station sensiblement indépendante des variations de fréquence ou de voltage de la station génératrice, en vue du service des essais de la General Electric C°.

Les transformateurs rotatifs sont à deux collecteurs et débitent leur courant à 250 volts chacun ; ils peuvent être montés en série ou en parallèle, suivant les besoins.

Le voltage de 250 volts a été adopté pour pouvoir utiliser les anciens moteurs des ateliers, qui fonctionnent sous cette différence de potentiel.

A. B.

XII. — Divers.

Scientific American (15 juin 1897) : *Chariot, pour transport des pompes à incendie.* — On a songé, en Amérique, à utiliser le réseau si développé des tramways électriques pour le transport

rapide des pompes à vapeur à incendie, dans les localités voisines des grands centres.

L'engin combiné à cet effet se compose de deux trucs soulevant une plate-forme sur laquelle peut être placée la pompe à incendie. Il suffit d'abaisser légèrement la plate-forme et de détacher le truc d'avant pour que la pompe à vapeur puisse être facilement halée hors de la plate-forme de transport.

Aux expériences qui ont été faites, on a mis deux minutes un quart pour charger la pompe à vapeur sur la plate-forme et deux minutes pour la décharger et y atteler les chevaux qui devaient la conduire sur le théâtre de l'incendie.

Sientific American (9 octobre 1897) : *Le dernier coursier de l'Atlantique.* — Le nouveau steamer *Empereur-Guillaume-le-Grand* du North German Lloyd, a effectué la traversée de l'Atlantique dans des conditions de rapidité exceptionnelle. Le parcours de Southampton à New-York a été franchi en 5 jours $22^{h},35'$, soit à une vitesse moyenne de 21 nœuds 39. La vitesse journalière la plus grande pendant la traversée a été de 22 nœuds, 76, correspondant à un parcours de $907^{km},476$.

Les principales dimensions du paquebot sont : longueur $197^{m},81$; largeur, $20^{m},12$; creux, $13^{m},10$; déplacement, vingt mille tonnes.

La machine développe 28.430 chevaux-vapeur ; la consommation de charbon est de 500 tonnes par jour.

Le personnel de bord de toute nature s'élève à 450 hommes. Les passagers sont au nombre de 1.520, dont 350 de 1re classe et 370 de 2e classe.

H. D.

PÉRIODIQUES BELGES.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Annales des Travaux publics de Belgique (avril et juin 1897) : E. Froidure. — *Les procédés de consolidation des talus des tranchées.* — *Rapport sur la mission faite aux chemins de fer de l'Est français.* — La mission fut motivée par les éboulements nom-

breux et considérables, qui se sont produits successivement dans la grande tranchée du bief de partage du canal de la Lys à l'Yperlée et qui ont empêché jusqu'à présent de mettre en exploitation ce canal, dont la construction avait été entreprise dès 1864.

L'auteur du rapport commence par donner, dans un premier chapitre, une théorie des glissements de talus et, dans le chapitre II, une analyse des propriétés des terres. Il examine ensuite, dans le chapitre III, les causes et le mode de production des éboulements.

Les causes principales sont les suivantes :

1° Les *agents atmosphériques*, comprenant la pluie, la gelée et les alternatives de sécheresse et d'humidité, auxquels sont dus les *éboulements superficiels ;*

2° Les *eaux intérieures* produisant les *éboulements de fond.*

Diverses causes accidentelles, plans de glissement naturels, crevasses en haut d'une tranchée, trépidations causées par le passage des trains, inclinaison trop forte des talus, concourent à la production des éboulements superficiels ou des éboulements de fond.

L'auteur examine dans quelles conditions ont lieu ces derniers éboulements suivant la nature du terrain : terrain perméable sans nappe d'eau ; terrain perméable avec nappe d'eau; massif imperméable surmonté d'un massif perméable; terres argileuses.

Le dernier chapitre, consacré aux procédés de consolidation, se divise en deux parties :

1° *Moyens de prévenir les éboulements superficiels :* Fossés de crête. — Banquettes sur les talus. — Semis et plantations. — Revêtements.

2° *Moyens de prévenir les éboulements de fond :*

a) *Procédés par assainissement :* système de M. de Sazilly, — système de M. Bruère, — drains de talus, — drains longitudinaux derrière la crête, — drainages par galeries ;

b) *Procédés par soutènement ;*

c) *Drains-contreforts :* les tranchées de Guérard, de la Touffe, de Mortcerf, de Dammartin, de Coubertin, du Bois-Morand, sur le chemin de fer de l'Est.

Le système des *drains-contreforts*, le plus efficace, aujourd'hui presque exclusivement adopté aux chemins de fer de l'Est, consiste dans l'établissement de contreforts en pierre sèche, noyés dans le terrain, mesurant de 1 mètre à 2m,50 de largeur

et espacés de 5 à 10 mètres. Ils maintiennent les terres et les drainent. On les applique contre la surface de glissement, reconnue au préalable par des sondages, s'il y a lieu, en ayant soin que leur profil extérieur englobe complètement cette surface. Ce système de consolidation étant très coûteux, s'emploie *répressivement* plutôt que *préventivement*. Comme, en général, la production des éboulements est lente et s'annonce par divers signes extérieurs, faciles à constater, on peut, sans grand inconvénient, différer l'application des procédés de consolidation jusqu'au moment où leur nécessité est absolument reconnue. Une surveillance très attentive est indispensable.

Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer (octobre 1897) : J.-E. Stead. — *Examen microscopique et mécanique de vieux rails et bandages en acier.* — Les modifications physiques du rail paraissent localisées dans la surface de roulement ; la surface altérée n'a guère plus de un demi-millimètre d'épaisseur ; c'est dans cette pellicule durcie que se forment les fissures qui, se propageant dans le corps du rail, peuvent amener sa rupture ; en enlevant cette pellicule, ou en la réchauffant au rouge, on rend au rail sa résistance. Il n'y a jamais de fissures sur les côtés du champignon. Elles n'existent que dans la partie centrale, qui reçoit la plus forte charge. Plus le champignon est usé, plus large est la partie fissurée. — De l'examen superficiel au microscope d'une petite parcelle du champignon d'un rail, on peut conclure à la possibilité pour ce rail de se rompre en service.

Revue universelle des Mines, de la Métallurgie, etc. (Liège, septembre 1897) : H. Detienne. — *Notes sur la fabrication et les propriétés du ciment de laitier.* — L'auteur commence par rappeler quelques modes d'utilisation, les uns sanctionnés, les autres condamnés par l'expérience, des laitiers de haut-fourneau, tels que : fabrication de pierres artificielles, fabrication et emploi de la laine minérale, — fabrication du verre à bouteilles, — fabrication des briques. Il traite ensuite complètement de la fabrication et des propriétés du ciment de laitier.

Les laitiers basiques contenant les principaux éléments constitutifs des ciments, mais avec moins de chaux, on a essayé d'abord d'obtenir le ciment en ajoutant de la chaux

caustique au laitier liquide (procédé Farinaux). Les résultats n'ont pas été satisfaisants. Puis on employa le laitier *granulé* (procédé Bosse et Wolters), obtenu par l'immersion dans l'eau froide du laitier sortant du fourneau. La granulation communique au laitier des propriétés pouzzolaniques très développées (expériences de M. de Tetmayer au Polytechnicum de Zurich). Les laitiers gris bleu, riches en chaux, conviennent spécialement pour la fabrication du ciment. Le laitier granulé est d'abord parfaitement *séché* à haute température (rouge sombre), puis *broyé* aussi complètement que possible (On se sert maintenant du broyeur à boulets). La farine de laitier sortant du broyeur est conduite aux *blutoirs* (blutoirs à tamis ; plan incliné à secousses; trieurs à vent) pour éliminer les parties non suffisamment réduites. Puis a lieu, dans l'appareil *mélangeur*, le mélange en proportion convenable du laitier avec la chaux préalablement éteinte par immersion et soigneusement blutée. On complétait autrefois cette opération par l'*homogénéisation* qui améliore le produit, mais dont on se passe aujourd'hui en prolongeant le travail du mélangeur.

Le *dosage* de la chaux se fait par tâtonnement comme dans la fabrication du ciment Portland. Suivant la *basicité* du laitier, on ajoute de 15 à 30 0/0 de chaux éteinte. On appelle *coefficient de basicité* d'un laitier le rapport de la somme des équivalents des bases (alumine, chaux, magnésie et, le cas échéant, baryte) à l'équivalent de la silice considérée comme acide. Jusqu'à une certaine limite (coefficient 2,20 environ), la résistance paraît proportionnelle au coefficient de basicité. Certains fabricants emploient de la chaux grasse; d'autres de la chaux hydraulique ; cette dernière est plutôt à conseiller.

Le mortier normal de ciment de laitier (100 grammes de ciment mêlés à 300 grammes de sable) damé à raison de 0,3 kilogrammètre par gramme de mortier sec a, en moyenne, pour poids spécifique, 2,30, chiffre analogue à celui que donne le mortier de ciment Portland.

Sa résistance est souvent supérieure à celle du mortier de ciment Portland. Les cahiers des charges exigent les mêmes résistances pour les deux produits. En Belgique, on prescrit :

Traction	11	kilogrammes après	7	jours
	18	—	28	—
Compression	90	—	7	—
	160	—	28	—

Après 200 jours, les résistances atteignent, pour un mortier bien fabriqué, de 29 à 35 kilogrammes à la traction et de 240 à 280 kilogrammes à la compression.

Le mortier de ciment de laitier est moins perméable que celui de ciment Portland. Il paraît bien résister à la mer.

IV. — Navigation intérieure.

Annales des Travaux publics de Belgique (août 1897) : E. Marotte. — *Les travaux d'amélioration de la Meuse.* — Les premiers travaux d'amélioration, méthodiquement exécutés, datent de 1841. Ils ont consisté dans l'amélioration des chemins de halage et dans l'établissement dans les hauts fonds de passes navigables maintenues à profondeur par des jetées longitudinales submersibles. Ces passes devaient offrir un tirant d'eau minimum de 1m,50. On a réussi pour les unes et échoué pour les autres.

Cet insuccès fit décider la construction d'un canal latéral à la Meuse de Liège à Maestricht, exécuté de 1852 à 1864. Le travail de canalisation fut continué de 1862 à 1867 entre Liège et Namur et poursuivi jusqu'à la frontière française, qu'il atteignit en 1880. Plusieurs barrages à fermettes ou à hausses, sur la passe navigable, avec déversoirs à hausses ou déversoirs fixes longitudinaux et avec écluses accolées, avaient été bâtis pendant le même temps. Les débouchés n'en avaient pas été méthodiquement fixés.

De nouveaux travaux furent entrepris à partir de 1880, en vue d'améliorer, sous le coup de la désastreuse crue du 22 décembre 1880, non seulement le lit mineur par des élargissements et des rectifications, mais encore le lit majeur, sacrifié au développement des agglomérations et aux exigences de l'industrie. Trois barrages furent élargis et modifiés. La dépense s'est élevée à 4.700.000 francs.

Actuellement, le mouillage n'est jamais inférieur à 1m,80. La durée du trajet entre Liège et Givet ne dépasse guère quatre à cinq jours, le prix du fret est tombé de 6 à 2 francs, et le trafic a monté de 20 à 80 millions de tonnes.

—— (Août 1897) : *Les procédés en usage dans les Pays-Bas et en Allemagne pour opérer la rupture des glaces sur les voies maritimes. Compte rendu d'une mission accomplie par M. l'Inspecteur général Troost et par MM. les Ingénieurs en chef Pierrot, Van*

Gansberghe et Royers. — Dans les Pays-Bas, le Waterstaat néerlandais s'occupe, aux frais de l'État, du déglaçage des grandes rivières, en vue de faciliter l'écoulement des glaces, lors de la débâcle qui suit le dégel. On commence le dégagement par l'aval. Les engins employés sont des bateaux brise-glaces. Il y en a de trois types.

Premier type : Bateaux à hélice, fonctionnant en temps ordinaire comme steamers de service, qui agissent sur la glace en montant sur elle sous l'impulsion d'une vitesse assez grande et en la brisant par leur poids.

Deuxième type : Remorqueurs à hélice, armés d'un éperon qui pénètre sous la glace, la soulève et la brise en la repoussant par côtés.

Troisième type : Remorqueurs très robustes, dits béliers qui opèrent par chocs.

Il est inutile de procéder au déglaçage pendant qu'il gèle. On attend le dégel, et on arrête l'opération dès que la glace devient franchement flottante.

Le déglaçage s'exécute au moyen d'un bateau du premier type, tenant la tête, au milieu du lit de la rivière, assisté, sur chaque bord, d'un remorqueur à éperon du deuxième type. A l'aval de ce premier groupe, des béliers brisent les grands glaçons et détachent les glaces attenantes aux rives. Accessoirement on fait usage d'explosifs.

Des bateaux des types précédemment décrits opèrent le déglaçage dans le port de Rotterdam et dans le Canal Nord-Hollandais, d'Amsterdam à Ymuiden.

Des bateaux pouvant monter sur la glace ou agir comme béliers sont employés en Allemagne pour déglacer le Weser maritime, l'Elbe inférieure et le port de Hambourg, et l'Elbe supérieure entre Harbourg et Hambourg.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer (octobre 1897) : Loufti-Youssef Ayrout. — *Étude comparée du service de contrôle dans les chemins de fer anglais, français, italiens, suisses et égyptiens.* — L'auteur rend compte de l'organisation et du fonctionnement du contrôle intérieur des administrations de chemins de fer dans la *South Eastern Railway Company*, dans la *Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée*, dans la

Societa italiana per le strade ferrati meridionali (*Rete adriatica*), dans *la Compagnie du chemin de fer du Gothard* et dans l'*Administration des chemins de fer, des télégraphes et du port d'Alexandrie.*

XI. — Administration. — Législation.

Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer (novembre 1897) : G.-B. Leighton. — *La profession d'agent de chemin de fer et un programme d'enseignement pour la préparation à cette profession. Mémoire présenté au « New-York-Railroad Club » et discussion de ce mémoire.* — La lecture de cet important mémoire a été suivie d'une longue et très intéressante discussion, à laquelle ont pris part MM. le colonel H.-G. Prout, rédacteur en chef de la *Railroad Gazette ;* W.-G. Berg, qui a présenté le programme d'une école professionnelle spéciale de chemin de fer ; C.-W. Bradley, general superintendant du « West Shore Railroad » ; W.-H. Baldwin, président du « Long Island Railroad » ; Sinclair, rédacteur en chef de *Locomotive Engineering ;* etc., etc.

F. D.

PÉRIODIQUES HOLLANDAIS

Par M. Van YSSELSTEYN, Ingénieur, sous-directeur des travaux de la Ville de Rotterdam.

I. — Sciences appliquées.

Bulletin de l'Institut Royal des Ingénieurs (année 1896-1897, livraison 4) : M. R.-P.-J. Tutein Nolthenius donne une description de quelques essais faits par lui avec des tôles de Monier. Il en tire les résultats suivants :

1° Pour des calculs approximatifs, on peut considérer une tôle de Monier comme un corps de matière homogène, de sorte qu'on peut employer les formules ordinaires pour la résistance et l'élasticité ;

2° Si l'on prend des tôles d'une épaisseur donnée mais avec des ossatures différentes, et si l'on regarde le fer de l'ossature comme constituant une couche uniforme sur l'étendue de la tôle, la résistance de celle ci est directement proportionnelle à l'épaisseur de cette couche.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Ingénieur (livraison du 20 novembre 1897) : *Excavateur*. — L'engin décrit a été construit par la maison A.-F. Smulders à Utrecht pour les grands travaux, en exécution pour le compte du Gouvernement des Indes néerlandaises, dans la vallée du fleuve, dit Solo, dans l'île de Java (*).

Ce Gouvernement a commandé à M. Smulders cinq excavateurs ; au 15 novembre le premier fut essayé en présence des autorités. L'excavateur fait monter de vingt-cinq à trente bacs par minute, de sorte qu'il peut déplacer 75 mètres cubes par heure. Le sol, très dur pendant la saison sèche, est fort tenace durant la saison des pluies.

L'engin est muni de trois machines à vapeur de 150, 16 et 26 chevaux. On y trouve, indépendamment de ces machines, deux pompes, système Duplex.

Le poids total de l'excavateur est de 70.000 kilogrammes.

V. — Travaux maritimes.

Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs (année 1896-1897, livraison 5). — M. l'Ingénieur Lindo, directeur des travaux communaux de La Haye, a donné dans la séance du 8 juin une description détaillée d'un mur de revêtement, bâti le long des dunes à Schéveningue. Depuis quelques années, la rangée des dunes s'était affaiblie beaucoup, et il était urgent de les protéger artificiellement par un revêtement.

Le mur a une hauteur de 4 mètres au-dessus de la plage. Au pied du mur se trouve un talus, revêtu de pierres de basalte, ayant une pente de 1 à 4 et une largeur de 6 mètres.

(*) Ces travaux gigantesques ont pour but de donner une nouvelle embouchure à ce fleuve et de faire des irrigations. Ils sont évalués à environ 40 millions de francs.

Le mur est formé de béton et de basalte. Il a une longueur de 1.270 mètres et a coûté environ 1.200.000 francs. Commencé en février 1896, le travail était complètement achevé avant l'ouverture de la saison balnéaire en juin 1897.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs (année 1896-1897, livraison 4). — Dans la séance de l'Institut du 13 avril, M. I.-M.-K. Pennink montre un échantillon de deux conduites, qui sont posés dans l'Y, par le service de la distribution d'eau potable de la ville d'Amsterdam.

L'Y, qui était autrefois un golfe, est fermé depuis quelques années par des écluses et forme un grand bassin. Pour alimenter en eau le quartier, qui est bâti de l'autre côté de ce bassin, il a été nécessaire de poser trois conduites ayant chacune un diamètre intérieur de 50 millimètres. Ces tuyaux sont en plomb d'une épaisseur de 4 millimètres, couvert par de l'asphalte et ensuite armé d'une cuirasse d'acier, qui se compose de fils d'une épaisseur de 6 millimètres qui enveloppent le tuyau en spirale. Cette cuirasse est recouverte par une gaine de cordes et d'asphalte. Le diamètre extérieur de la conduite est de 80 millimètres. Le tout a la même construction qu'un câble électrique sans fils intérieurs en cuivre.

Il est superflu d'insister sur les avantages de ce système.

La pose de ces trois conduites (chacune d'une longueur de 350 mètres et d'un poids de 10.000 kilogrammes) a duré vingt-cinq minutes.

VIII. — Machines.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs mécaniciens et des Architectes navals (année 1896-1897, séance du 16 septembre 1897). — M. J.-C. Dyxhoorn a donné une description de deux machines, construites sur son projet, par les ateliers de construction « Feyenoord », à Rotterdam. Ces machines sont établies pour le service communal de distribution d'eau potable de cette ville. Chacune d'elles a une force de 180 chevaux effectifs et fait mouvoir trois pompes, qui peuvent élever un volume de 1.500 mètres cubes par heure à une hauteur maximum de 35 mètres.

Ces machines sont très remarquables à cause de leur faible consommation de vapeur. Des essais très exacts ont montré qu'une machine ne consomme que 6kg,635 de vapeur par cheval effectif et par heure. Les machines étant triples compounds, la vapeur avait une pression de 12 atmosphères.

Il est probable qu'il n'existe pas encore de machines plus économiques.

L'installation des deux machines en y comprenant les pompes et les appareils pour la condensation, mais sans générateurs, a coûté 260.000 francs.

IX. — Électricité appliquée.

Electra (année 1897, livraisons de juillet et d'août) : *Influence des tramways électriques sur les conduites de gaz et d'eau et sur la téléphonie.* — Après avoir décrit l'influence pernicieuse que les courants *vagabondants*, qui sont causés par les tramways électriques, exercent sur les tuyaux en fonte, l'auteur indique différents moyens, soit pour annuler totalement ces courants, soit pour les réduire à un minimum. Il donne aussi des calculs pour montrer quelle perte d'énergie électrique est produite par ces courants *vagabondants*. En Angleterre, le « Board of Trade » a donné des règlements très sévères, qui doivent être suivis par les Compagnies des tramways. Ces règlements sont cités et critiqués par l'auteur.

XII. — Divers.

Ingénieur (livraisons des 6, 13 et 20 novembre et du 4 décembre 1897) : M. L.-H.-N. Dufour. — *Ascenseurs pour maisons d'habitation.* — L'auteur donne une description détaillée des différents systèmes d'ascenseurs.

Il distingue les catégories suivantes :

1° Ascenseur avec une cage reposant sur un piston, mû par la force hydraulique ;

2° Ascenseur avec une cage, suspendue à une corde, qui est actionnée, soit par la force hydraulique, soit par une machine à vapeur ou à gaz, soit par un moteur électrique ;

3° Ascenseur à plusieurs cages — système Patenotre — mû par un moteur électrique ou par une machine à gaz.

Les systèmes 1° et 2° sont assez connus ; les ascenseurs à

mouvement perpétuel avec plusieurs cages (catégorie 3) sont, au contraire, assez rares ; on a installé depuis une année un ascenseur de cette nature dans les bureaux de la Compagnie pour l'exploitation des chemins de fer néerlandais à Utrecht.

Les cages sont fixées à deux chaînes de Galle ; chacune de celles-ci se mouvant sur deux roues, dont l'une est placée dans la cave et l'autre sur le grenier. Ces chaînes sont mues perpétuellement, avec une vitesse de $0^m,25$ à $0^m,30$ par seconde, par un moteur électrique. Les cages sont ouvertes d'un côté, de sorte qu'on peut entrer dans l'ascenseur chaque fois que le plancher d'une cage passe au ras du sol de l'étage où l'on se trouve. Un ascenseur pour quatre étages avec vingt cabines consomme de 2,5 à 3 kilowatts.

PÉRIODIQUES RUSSES.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Izvestia Sobrania Ingenerov Poutei Soobchtchenia (juin 1897) : J. Stezevitch. — *Sur l'affaissement des voies de chemins de fer sous le ballast et les moyens de le combattre.* — M. Stezevitch, comme rapporteur au XIVe Congrès des Ingénieurs du service de la voie des chemins de fer, a reçu de plusieurs Compagnies les réponses au questionnaire qui leur avait été envoyé à ce sujet. Dans son article, M. Stezevitch passe en revue les résultats de la pratique et d'expériences systématiques sur les affaissements de la plate-forme sous le ballast et cherche à en dégager des conclusions précises sur la formation de ceux-ci, sur l'influence de la nature des remblais, de la nature et de l'épaisseur de la couche de ballast, sur les procédés de réparation, enfin sur le profil le plus avantageux à donner à la voie au moment de la construction et sur d'autres mesures propres à garantir la stabilité de remblais. Le texte contient de nombreux croquis, reproduisant les sections transversales des voies présentant des affaissements et envoyés par les Compagnies avec leurs réponses.

L'examen de ces croquis montre que l'affaissement se produit généralement dans l'axe de la voie et que, favorisé par l'eau

qui y séjourne et par la forme de coin que prend la section du ballast, il progresse de plus en plus vite. De l'avis de M. Stezevitch, le moyen le plus sûr d'éviter les ennuis et les dangers, serait de donner à la plateforme seulement la largeur des traverses et aux talus des pentes d'autant plus raides que le terrain est moins perméable, afin de faciliter l'écoulement des eaux de pluies, et surtout de ne pas reculer devant les frais de premier établissement et de donner à la couche de ballast une épaisseur suffisante pour que la pression se distribue uniformément sur la voie. Le manque de ballast est un défaut assez fréquent sur les voies russes, et il présente d'autant plus d'inconvénients que le matériel roulant russe est plus lourd que celui des autres pays.

VIII. — Machines.

Izvestia Sobrania Ingenerov Poutei Soobchtchenia (avril 1897) : V. Pastakoff. — *Ascenseurs à flotteurs pour bateaux, avec une courte notice historique sur les élévateurs.* — Après une étude historique succincte de la construction des élévateurs pour bateaux et après une courte description des principaux types d'élévateurs existants : sas simples, sas multiples, élévateurs verticaux à contrepoids, élévateurs à chambres équilibrées, élévateurs à chambre submersible et, enfin, élévateurs à flotteurs, l'auteur passe à la description d'un appareil de ce dernier type, en cours d'achèvement à Henrichenbourg, sur le canal de Dortmund à Ems, construit par la maison Haniel et Lueg, de Düsseldorf.

La chambre mobile est portée par cinq cylindres à air, plongeant dans cinq puits, communiquant entre eux et ayant une force ascensionnelle totale de 3.050 tonnes. Les parois des puits sont formées par des anneaux de fonte, composés chacun de seize segments, rivés ensemble, et qui ont été mis en place au fur et à mesure de l'avancement des puits et noyés dans le béton.

La partie vraiment originale du système consiste dans le mode de réglage du mouvement ascendant ou descendant de l'élévateur. Ce réglage est fait au moyen de quatre écrous fixés aux quatre angles de la chambre mobile et reposant sur quatre colonnes filetées, entraînées toutes par un même arbre, mû par des moteurs électriques. La résistance des colonnes et la puissance de la machinerie sont calculées de telle façon qu'en

cas d'avarie à la chambre ou aux flotteurs, le système puisse continuer sa marche normale, sous l'action de la machine à vapeur de 220 chevaux. Toutes les manœuvres se font à l'aide de moteurs électriques. Le temps d'une montée et d'une descente, avec bateau, est de quinze minutes. Le projet paraît bien étudié, et des expériences préalables coûteuses ont été exécutées; mais il faut attendre les résultats de la pratique pour juger de la valeur réelle du système.

IX. — Électricité appliquée.

Elektritchestvo (octobre 1897) : R. Klasson. — *Transmission électrique d'énergie par courants triphasés dans les poudreries d'Okhta, près de Saint-Pétersbourg.* — L'administration des poudreries d'Okhta, disséminées dans un rayon de 3 kilomètres profitant de ce que la force hydraulique d'Okhta (320 chevaux en moyenne) est devenue disponible par suite de la cessation des industries qu'elle alimentait sur place, chargea MM. Klasson et Tchikolev d'étudier un projet pour remplacer les nombreuses machines à vapeur dissiminées dans les ateliers par des moteurs électriques alimentés par une station centrale. L'exécution de l'installation s'est faite dans des conditions assez particulières. Il a fallu l'adapter au matériel hydraulique existant depuis trente ans, qui naturellement était assez démodé, conserver l'emploi du matériel d'éclairage et des canalisations existants, satisfaire aux exigences exceptionnelles de sécurité de cette industrie au point de vue des étincelles. A ce dernier point de vue, les moteurs à courant triphasé ont paru posséder des qualités particulièrement précieuses, ce qui a motivé le choix de ce système de distribution, à l'exclusion de tous les autres.

Le type des moteurs adoptés est celui de Siemens et Halske, avec induit à deux enroulements, réunis en quantité en marche normale, et mis en série au moment du démarrage, ce qui assure un départ très doux et évite l'emploi de rhéostats. Le courant est distribué par lignes aériennes, jusqu'à une distance maxima de 3 kilomètres, sous une tension de 2.050 volts par phase, avec une transformation sur les lieux d'utilisation à 100 volts. L'utilisation de l'ancien matériel d'éclairage dans quelques ateliers a nécessité l'emploi de deux commutatrices transformant des courants triphasés en courant continu.

Il n'y a rien de particulier à dire de l'installation électrique proprement dite ; signalons toutefois l'emploi d'un wattmètre dans le circuit de chaque génératrice, concurremment avec le voltmètre et l'ampèremètre intercalés dans chacune des phases.

L'expérience a été défavorable aux parafoudres à souffleur magnétique, fournis par la maison Siemens et Halske. Par temps d'orage, l'arc, une fois établi par la décharge de l'électricité atmosphérique, persistait malgré le souffleur et mettait la ligne à la terre. En peu de temps, sur douze appareils installés, sept ont été brûlés. Des résultats un peu meilleurs ont été obtenus avec douze autres paratonnerres à glace, système Schuckert. Mais là encore, les étincelles détérioraient assez vite l'argenture, quoique l'arc ne persistât pas. Dans l'installation des génératrices, au lieu de fondations en maçonnerie, on a cru pouvoir se contenter d'un simple châssis en bois pour supporter des unités de 120 et 175 kilowatts, entraînées par courroies à double transmission. Mais les vibrations très fortes observées ont nécessité le renforcement de ce châssis. Les turbines étant dépourvue des régulateurs de vitesse pour maintenir l'allure constante quand la charge varie, on est obligé d'agir sur l'admission de l'eau dans les turbines ; la manœuvre des vannages se fait à l'aide de deux petits moteurs électriques commandés du tableau de distribution. Mais, comme elle est trop lente pour éviter les emballements, on a recours au freinage par rhéostat liquide.

A. B.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

1897.

N° 52

OUVRAGES ALLEMANDS.

I. — Sciences appliquées.

Gümbel (L.). — Das Stabilitätsproblem des Schiffbaues. Mit 28 Textfig. u. 6 lith. Taf. gr. 8° (VI, 49 S.). B., G. Siemens. N. 2,40
Le problème de la stabilité des navires.

Keck, Geh. Reg.-R. Prof. Wilh. : Vorträge üb. Mechanik als Grundlage f. das Bau u. Maschinenwesen. II. Thl. : Mechanik elastich-fester u. flüss. Körper. gr. 8° (VIII, 367 S. m. 364 Holzschn.). Hanover, Helwing. N. 12
La mécanique comme base de la science des constructions et des machines.

Person, Ingen. fr. Assist. (Benj.) — Tabellen zur Bestimmung der Trägheitsmomente symmetrischer u. unsymmetrischer beliebig zusammengesetzer Querschnitte f. Bauingenieure, Maschinen-ingenieure u. Architekten. gr. 4° (V, 20 S. m. 5 Fig.). Zürich, E. Speidel in Komm. N. 2
Tables pour la détermination des moments d'inertie.

Rejtö, Ingen. Prof. (Alex.). — Die innere Reibung der festen Körper als Beitrag zur theoretischen mech. Technologie. Aus dem Ung. übers. v. Ingen. Priv.-Doc. Karl Haul. gr. 8° (VII, 111 S. m. 22 Tf.), L. A., Felix. N. 7
Le frottement intérieur des corps solides; contribution à la technologie mécanique.

Schmid, Baugewerksch.-Prof.Priv.- Doz. (Carl). — Statik u. Festigkeitslehre. Lehrheft nebst vielen Beispielen, elementar bearb. f. den Gebrauch an der Schule u. in der Praxis. 2. Auff. hoch 4°. (VIII, 102 S. m. Abbildgn. u. 2 Taf.) St., J. B. Metzler's Verl. N. 4

Leçons de statique et de résistance.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Beck, Dr. (Ludw.). — Die Geschichte des Eisens in technischer u. kulturgeschichtlicher Beziehung. 3. Abtlg. Das 18. Jahrh. Mit 232 in den Text eingedr. Abbildgn. gr. 8° (VII, 1205 S.). Braunschweig, F. Vieweg und Sohn. N. 35

L'histoire du fer, 3e partie. — Le XVIIIe siècle.

Beck, Dr. (Ludw.) — Die Geschichte des Eisens in technischer u. kulturgeschichtlicher Beziehung. 4. Abtlg. Das XIX. Jahrh. 1. Lfg. gr. 8° (S. 1—176 m. Holzst.). Braunschweig, F. Vieweg und Sohn. N. 5

L'histoire du fer, 4e partie. — Le XIXe siècle.

Hehne, Zimmermstr. (W.) — Tabellarisches Handbuch zur Bestimmung der Holzstärken im Hochbau, nebst e.-Anleitg. zu deren Berechng. 2. Anfl. gr. 8° (VI, 82 S. m. Fig.). Halle, L. Hofstetter. N. 2.50, geb. N. 3

Manuel de tables pour la détermination de la force des bois dans les constructions.

Kick, Reg.-R. Prof. (Frdr.) — Vorlesungen üb. mechanische Technologie der Metalle, des Holzes, der Steine u. anderer formbarer Materialien (In 3 Hftn.). 1. Hft. gr. 8° (198 S. m. Abbilcgn.). Wien, F. Deuticke. N 3.50

Leçons sur la technologie mécanique des métaux, des bois, des pierres et autres matériaux.

Schubert, Baugewerksch.-Lehr (Hugo). — Kurzgefasstes Lehrbuch der Baumaterialienkunde f. Bautechniker, Bauhandwerker u. Baugewerk-u. Gewerbeschulen. Mit 80 Abbildgn. gr. 8° (250 S.). L., A. Schumann's Verl. Geb. in Leinw. N. 3

Abrégé de l'art des matériaux de construction.

Wedding, Geh. Bergr. Prof. Dr. (Herm.). — Ausführliches Handbuch des Eisenhüttenkunde. 2. Aufl. v. des Verf. Bearbeitg. v. « Dr. John Percy's Metallurgy of iron and stell. » (In 3 Bdn.) Mit zahlreichen Holzst., phototyp. Abbildgn. u. Taf. 2. Bd. Die

Grundstoffe der Eisenerzeugg. 1. Lfg. gr. 8° (XIII u. S. 1-274). Braunschweig, F. Vieweg und Sohn. N. 18

Manuel détaillé de l'art de la forge.

III. — Routes. — Ponts et viaducs.

HEINZERLING, Geh. Reg.-R. Prof. Dr. (F.). — Die Brücken der Gegenwart. Systematisch geordnete Sammlg. der geläufigsten neueren Brücken-Constructionen, zum Gebrauche bei Vorlesgn. u. Privatstudium üb. Brückenbau, sowie bei dem Berechnen, Entwerfen u. Veranschlagen v. Brücken zusammengestellt u. m. Text begleitet. I. Abth.: Eiserne Brücken. 3 Hft. Die eisernen Bogen-Balkenbrücken. Eiserne Balkenbrücken m. gegliederten Polygonalträgern einschliesslich der Auslagerbrücken. 34 Bog. Text m. 325 Textabbildgn.; 3 Texttaf. u. 8 lith. Taf. in Doppel-Fol. (VIII, 128 S.) L. B., W. und S. Loewenthal. N. 24.

Les ponts du temps présent, 1re partie : Les ponts en métal.

Kaiser-Wilhelm-Brücke (die). Grosste Eisenbahnbrücke des Kontinents, in der Bahnlinie Solingen-Remscheid gelegen. Mit 1 Karte, 2 Ansichten u. 1 Skizze. 2 [Umschlag-] Aufl. gr. 8°. (14 S.) Remscheid, W. Witzel. N. 80.

Le pont de l'Empereur-Guillaume, sur la ligne de Solingen à Remscheid.

IV. — Navigation intérieure.

Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. Auf Veranlassg. der Reichskommission zur Untersuchg. der Stromverhältnisse des Rheins u. seiner wichtigsten Nebenflüsse u. auf Grund der v. den Wasserbaubehörden der Rheingebietsstaaten gelieferten Aufzeichngn. bearb. u. hrsg. v. dem Centralbureau f. Meteorologie u. Hydrographie im Grossherzogth. Baden. III. Hft. Die Anschwellgn. im Rhein, ihre Fortpflanzg. im Strome nach Mass u. Zeit unter der Einwirkg. der Nebenflüsse. Bearb. von Bauamtsassess. M. v. Tein. Mit 10. Taf. IV. Hft. Auftreten u. Verlauf des Hochwassers vom März-April 1895. Bearb. von Bauamtsassess M. V. Tein. Mit. 5 Taf. Fol. (V. 91, u. 57 S.). B., W. Ernst and Sohn. Kart. bar n. 24.

Résultats de la recherche du niveau des hautes eaux dans le cours allemand du Rhin.

Riedel, Civ.-Ingen. (Jos.). — Ueber die Reconstructions-Arbeiten am Rhein-Marne u. Saar-Kohlen-Canal in Elsass-Lothringen. Vortrag. Mit 2 Taf. u. 9 Textfig. [Aus : *Ztschr. d. österr. Ingenieur- u. Architektenvereines*] Gr. 4° (15S.). Wien, Gerold und Co. in Komm. N. 6.

La reconstruction du canal de la Marne au Rhin en Alsace-Lorraine.

Riedler, Geh. Keg.-R. Prof. (A.). — Neuere Schiffs-Hebewerke, unter besond. Berücksicht. der Entwürfe f. den Donau-Moldau-Elbe-Kanal vom maschinen- u. betriebstechn. Standpunkte dargestellt. hoch 4, (IV, 145 S. m. 50 Abbildgn.). B., Polytechn. Buchh. A. Seydel. N 10.

Nouveaux appareils de levage des bateaux d'après le projet du canal du Danube à la Moldau et à l'Elbe.

Weber v. Ebenhof, Ob. Baur. Strombaudir (Alfr. Ritter). — Die Regulierung der Thaya n. ihr Einfluss auf die Abfluss-Verhältnisse der March u. der Donau. Eine hydrotechnisch-wasserrechtl. Studie. [Aus: *Allgemeine Bauzeitg.*]. Gr. Fol. (20 S. m. 2 Fig. u. 2 Taf.) Wien. R. v. Waldheim. N. 2.40.

La régularisation de la Thaya.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Arlbergbahn (die). — Denkschrift aus Anlass des 10 jähr. Betriebes 1884-1894. Hrsg. v. der k. k. Staatsbahndirection in Innsbruck gr. 4 (VII, 377 S. m. 37 Beilagen). Innsbruck (Wagner). N. 20.

Le chemin de fer de l'Arlberg. Mémoire sur les dix années d'exploitation (1884-1894).

Baltzer, Eisenb.-Bau- u. Betriebsinsp. (F.). — Die elektrische Stadtbahn in Berlin v. Siemens und Halske. Mit 9 in den Text gedr. Abbildgn. u. 7 Taf. [Aus: *Ztschr. f. Kleinbahnen*] Lex. 8° (48S.). B., J. Springer. N. 2.

Le chemin de fer électrique de Berlin.

Borgnino, Insp. Ingen. (G. Camillo). — Abänderung zu den metallenen Kupplungsmuffen in den Schläuchen der Vacuum-Bremse (System Hardy). Denkschrift. (Mit 5 Autotyp. u. 8 lyth. Taf.) gr. 8. (28 S.). Bologna. (L., G. Schlemminger). N. 3.

Modification dans les manchons d'accouplement du frein à vide (Système Hardy).

Brosius, Eisenb.-Dir. z. D. I., u. Ob. Insp. R. (Koch). — Die Schule des Lokomotivführers. Handbuch f. Eisenbahnbeamte u. Studirende techn. Anstalten. 1 Abth.: Der Lokomotivkessel u. seine Armatur. Mit 192 Holzschn. u. 2 lith. Taf. 8 Aufl. Neudr. 8° (IX, 218 S.). Wiesbaden, J.-F. Bermann.

L'école du conducteur de locomotives.

Eisenbahn-Technik (die), der Gegenwart. — Unter Mitwirkg. v. Bathmann, Berndt, v. Beyer, etc. Hrsg. v. Geh. Baur. Blum, Reg.- u. Baur. v. Bories, Prof. Barkhausen. 2 Bd. Der Eisenbahnbau. 2. Abschn. Lex.- 8° Wiesbaden, C. W. Kreidel. 2. Blum, Schubert, Zehme : Oberbau. (VII u. S. 114-308 m. 292 Abbildgn.). N. 5.

La technique des chemins de fer du temps présent. — La construction des chemins de fer.

Eisenbahn-Technik (die) der Gegenwart. — Hrsg. v. Geh. Baur. Blum, Reg.-u.Baur. v. Bo.ries, Geh. Reg.-R. Prof. Barkhausen. 1. Bd. Das Eisenbahn-Maschinenwesen. 1. Abschn. Die Eisenbahn-Betriebsmittel. 2. Thl. Die Wagen, Bremsen u. sonst-Betriebsmittel. Bearb. v. Borchardt, v. Borries, Halfmann, etc. Lex.-8°. (VIII u. S. 369-743 m. 584 Abbildgn. u. 6 Taf.) Wiesbaden, C. W. Kreidel. N. 16.

La technique des chemins de fer du temps présent .— Les machines de chemins de fer.

Schubert, Eisenb.-Dir. (E.). — Planum, Bettung u. Schwellenform des Eisenbahngleises. [Aus : *Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens in techn. Beziehg.*] Gr. 4° (12 S. m. 3 Taf.). Wiesbaden, C. W. Kreidel. Barn 1.40.

Plate-forme, ballast et forme des traverses pour voies de chemins de fer.

Schubert, Eisenbahndir (E.). — Schwellenquerschnitt, Schwellenabstand u. Bettungsstoff im Eisenbahngleise. [Aus : *Zeischr. f. Bauwesen*]. Imp. 4° (31 S. m. 22 Abbildgn. u. 3 Kpfrtaf.) B., W. Ernst und Sohn.

Profil et espacement des traverses et nature du ballast dans les voies de chemins de fer.

Strassenbahnen, die deutschen elektrischen, Klein- u. Pferdebahnen, sowie die elektrotechnischen Fabriken, Elektricitätswerke samt Hilfsgeschäften im Besitze v. Aktien-Gesellschaften. Gr. 8°. (X, 94 S.). L., A. Schumann's Verl. Geb. in Leinw. bar n. 2.50

Les tramways électriques allemands.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Fritsch (Theod.). — Die Stadt der Zukunft. Mit 1 farb. Taf. (in-2 Bl.) u. 14 Text-Abbildgn. Nebst e. Begleit-Schreiben: Die neue Gemeinde (Febr. 1897). Lex.-8° (29 u. 12 S.). L., Th. Fritsch. N. 2.

La ville de l'avenir.

Rietschel, Geh. Reg.-R. Prof. (H.). — Theorie u. Praxis der Bestimmung der Rohrweiten v. Warmwasserheizungen. Lex.-8° (XXX, 131 S. m. 6 Fig.). München, R. Oldenbourg. Geb. in Leinw. N. 5.

Théorie et pratique de la détermination des conduites de chauffage à l'eau chaude.

VIII. — Machines.

Bach, Prof. Baudir. (C.). — Die Maschinen-Elemente. Ihre Berechng. u. Konstruktion m. Rücksicht auf die neueren Versuche. 6. Aufl. 2 Bde. Mit in den Text gedr. Abbildgn., 3 Texttaf. m. 54 Taf. Zeichngn. Lex.-8° (XVIII, 702 u. 29 S.). St., A. Bergsträsser. N. 30 —; geb. in Halbfrz. N. 34.

Les éléments des machines ; leur calcul et leur construction.

Grove (Prof. Otto v.). — Formeln, Tabellen u. Skizzen f. das Entwerfen einfacher Maschinentheile. 10. Aufl. Fol. (III S. u. 72 autogr. Taf.). Hannover, Schmorl und v. Seefeld Nachf. Kart. N. 7.

Formules, tables et croquis pour le projet des pièces de machines.

Haeder (H.). — Der Maschinenmeister. Praktisches Handbuch f. Monteure u Maschinenbauer. I. Tl.: Die Maschine in der Werkstatt. 8° (IV, 168 S. m. 652 Abbildgn. u. 37 Tab.). Duisburg. Düsseldorf, L. Schwann in Komm. N. 2. 50.

Le machiniste. Manuel pratique des monteurs et constructeurs de machines.

Hahn (Navig.-Lehr.). — Die Schiffs-Dampfmaschine u. das Manövrieren m. Dampfschiffen. Bearb. f. Schiffskapitäne u. Steuerleute m. besond. Berücksicht. der Vorschriften f. den Unterricht in der Maschinenkunde auf den Navigationsschulen u. zum Selbstunterricht. Mit 4 Taf. Zeichngn., coloriert u.

schwarz. 3. Aufl. gr. 8° (VIII, 160 S.). Bremen, E. Hampe. Geb. in Leinw. N. 6.50.

Les machines à vapeur de bateaux.

Hartmann, Reg.-R. Prof. (Konr.) u. Ob.-Ingen. J. O. Knoke. — Die Pumpen. Berechnung u. Ausführg. der f. die Förderg. v. Flüssigkeiten gebräuchl. Maschinen. 2. Aufl. gr. 8° (IX, 666 S. m. 664 Fig. u. 6 Taf.). B., J. Springer. Geb. in. Leinw. N. 16.

Les pompes. — Calcul et établissement.

Henne, Civ.-Ingen. (Heinr.). — Die Wasserräder u. Turbinen, ihre Berechnung u. Konstruktion. Elementares Lehr. u. Handbuch. 2. Aufl. v. Fr. Neumanns « hydraul. Motoren », in gänzl. Neubearbeitg. hrsg. Mit 63 in den Text gedr. Fig. u. 1 besond. Atlas m. 17 Taf. in Plano (in qu. gr. Fol. m. 4 S. Text in Mappe). Gr. 8° (XII, 208 S.). Weimar, B. F. Voigt. 10.

Les roues hydrauliques et les turbines. — Calcul et construction.

Lolling, Maschinenbausch.-Dir. Ingen. (Heiko). — Konstruktionsblätter praktisch ausgeführter Maschinenanlagen, nebst erläut. Text u. elementar gehaltener Berechng. als Unterlage f. prakt. Ausführgn., techn. Lehranstalten u. zum Selbstunterricht hrsg. 1. Tl. Dampfkessel u. Dampfkesselanlagen. Fol. (III, 23 S. m. 16 Taf. in Aubeldr.) Köln, P. Neubner. In Mappe, N. 3.60.

Atlas pratique de construction de pièces de machines.

Meiszner, Ingen. (G.). — Die Hydraulik u. die hydraulischen Motoren. 2. Aufl. d. Ingenieuren Lehr. Dr. H. Hederich u. Dir. Nowak. 18-22 Lfg. gr. 8°. Iena, H. Costenoble. à n. 3 — 18-22. II. Bd. Nowak, Ing. Dir.: Theorie u. Bau, der Turbinen u. Wasserräder. 10-14 Lfg. (2. Tl. XIV u. S. 557-817 m. 41 Taf.) (2. Bd. 2. Tl. N. 21 —; I u. II.: n. 66 — ; Halbfrz-Einbde. à n. n. 2.)

L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. — Théorie et construction des turbines et des roues hydrauliques.

Musil, Prof. (Alfr.). — Die Motoren f. Gewerbe u. Industrie. 3. Aufl. der Motoren f. das Kleingewerbe. Gr. 8° (XIII, 311 S. m. 138 Abbildgn.). Braunschweig, F. Vieweg und Sohn. Geb. in Leinw. N. 6.80.

Les moteurs pour le commerce et l'industrie.

Reinhardt, Ing. (Karl.). — Steuerungstabellen f. Dampfmaschinen m. Erläuterungen nach dem Müller'schen Schieberdiagramme u. m. Berücksicht. e. Pleuelstangenlänge gleich dem fünffachen Kurbelradius, sowie beliebiger Exzenterstangenlänge f. einfache u. Doppel-Schiebersteuerungen. Mit zahlrei-

chen Beispielen. Lex.-8° (VIII, 112 S. m. Fig.). B., J. Springer. Geb. in Leinw. N. 6.

Tables de régulation pour machines à vapeur.

IX. — Électricité appliquée.

Anleitung zum Bau elecktrischer Haustelegraphen-, Telephon- u. Blitzableiter-Anlagen. Hrsg. v. der Aktiengesellschaft Mix und Genest. 4. Aufl. Gr. 8° (XV, 382 S. m. 558 Abbildgn.). B., Polytechn. Buchh. A. Seydel. N. 4.50; geb. in Leinw. N. n. 5.

Guide pour l'établissement des télégraphes électriques, téléphones, paratonnerres.

Arnold, Prof. Dir. (E.). — Constructionstafeln f. den Dynamobau. 1. Tl. Gleichstrom-Maschinen. qu. gr. Fol. (55 autogr. Taf. m. 1 Bl. Text.). St., F. Enke. In Mappe bar N. 20.

Tables pour la construction des machines dynamo.

Bibliothek, polytechnische. 1. Bd. Gr. 8°. Magdeburg, Faber. 1. Weiler, Prof. W.: Die Dynamomaschine. Physikalische Prinzipien, Arten, Teile, Wechselwirkg. der Teile u. Konstruktion derselben. 3. Aufl. (XVI, 199, S. m. 190 Fig.). N. 4 —; geb. N 4.50.

Bibliothèque polytechnique. — Les machines-dynamo-électriques.

Erhard, Bergr. Prof. Dr. (Thdr.). — Einführung in die Elektrotechnik. Die Erzeugg. starker elektr. Ströme u. ihre Anwendg. zur Kraftübertragg. Gr. 8° (VI, 183 S. m. 95 Fig.). L., J. A. Barth. N. 4 —; geb. in Leinw. N. 4.80.

Introduction à l'Electrotechnique.

Grünwald, Ingen. (E.). — Die Herstellung u. Verwendung der Akkumulatoren in Theorie u. Praxis. Ein Leitfaden. 2. Aufl. 12° (VI, 154 S. m. 83 Abbildgn.). Halle, W. Knapp. N. 3.

La réparation et l'emploi des accumulateurs. — Théorie et pratique.

Hochenegg, Ob.-Ingen. (C.). — Anordnung u. Bemessung elektrischer Leitungen. 2. Aufl. Gr. 8° (VIII, 214 S. m. 42 Fig.). B., J. Springer. — München, R. Oldenbourg (Auslieferung durch J. Springer), Geb. in Leinw. N. 6.

Distribution et mesure des courants électriques.

Leiner's elektrotechnischer Katalog. Die Literatur der Elektrotechnik, Elektricität, Elektrochemie, des Magnetismus, der Telegraphie, Telephonie, Blitzschutzvorrichtg. u. Röntgen-

Strahlen der J. 1884 *bis* 1897. (Geschlossen am 1. IV. 1897.) Mit Schlagwortregister. 3. Aufl. Gr. 8° (70 S.) L., O. Leiner. bar. N. 1.

Catalogue électrotechnique de Leiner. — Électricité, Electrochimie, Magnétisme, Télégraphie, Téléphonie, Paratonnerres, rayons Röntgen (1884-1897).

Meissner, Ingen. (Geo.). — Die Kraftübertragung auf weite Entfernungen u. die Konstruktion der Triebwerke u. Regulatoren. 2. Aufl. v. Ingen. Jos. Krämer. 1. Lfg. Gr. 8° (64 S. m. 5 Taf.). Jena, H. Costenoble. N. 3.

Le transport de la force à grande distance et la construction des machines et régulateurs.

Rühlmann, Prof. Dr. (Rich.). — Grundzüge der Wechselstrom-Technik. Eine gemeinfassl. Darstellg. der Grundlagen der Elektrotechnik der Wechsel- u. Mehrphasenströme. Mit 261 Abbildgn. u. 1 Taf. Zugleich Ergänzungsbd. zu: Grundzüge der Elektrotechnik der Starkströme. Gr. 8° (VIII, 359 S.). L., O. Leiner. N. 11.50; geb. in Leinw. bar 13.

Caractères distinctifs des courants alternatifs.

Thompson, Dir. Prof. (Silvanus-P.). — Die dynamoelektrischen Maschinen. 5. Aufl. Uebers. v. C. Grawinkel. Nach dem Tode des Uebersetzers besorgt v. K. Strecker u. F. Vesper. 2 Thle. Gr. 8° (VII, IX, 790 S. m. 520 Abbildgn. u. 19 Taf.). Halle, W. Knapp. N. 24.

Les machines dynamo-électriques.

Weiler, Prof. (W.). — Der praktische Elektriker. Populäre Anleitg. zur Selbstanfertigg. elektr. Apparate u. zur Anstellg. zugehör. Versuche, nebst Schlussfolgergn., Regeln. u. Gesetzen. 3. Aufl. 8° (XXXII, 614 S. m. 466 Fig.). L., M. Schäfer. N. 8.

L'électricien pratique.

Wietz (Hugo). — Die isolierten elektrischen Leitungsdrähte u. Kabel. Ihre Erzeugg., Verlegg. u. Unterhaltg. Dargestellt u. durch 159 in den Text gedr. Fig. Erläutert. Gr. 8° (VIII, 236 S.) L., O. Leiner. N. 7; — geb. in Leinw. bar 8.20.

Les câbles et les fils électriques isolés.

X. — **Architecture.**

Architecktur-Studien. Aufnahmen u. Entwürfe, hrsg. vom akadem. Architekten-Verein an der techn. Hochschule zu München. 43. Hft. gr. Fol. (12 Taf.). München, L. Werner. bar n. 2.50.

Études d'architecture (Association des architectes de Munich).

Bethke, Archit. (Herm.). — Der polychrome Backsteinbau ohne Anwendung v. natürlichem Gestein. (In 10 Lfgn.) 1 Lfg. gr. Fol. (10 Farbdr.) Stuttgart, K. Wittwer. N. 10.

La construction en briques polychromes sans emploi de pierres naturelles.

Denkmäler der Bauknust. Zusammengestellt, gezeichnet u. hrsg. vom Zeichen-Ausschuss der Studierenden (früher Autographieen-Kommission) der königl. techn. Hochschule zu Berlin, Abteilg. f. Architektur. II-V. Tl. gr. Fol. B., W. Ernst und Sohn in Komm. In Mappe bar n. 122. — II. Altchristliche u. romanische Baukunst. Nachtrag : Romanische Profanbauten. (88 Taf. m. 2 S. Text.) n. 38 —. — III. Gothische Baukunst in Frankreich u. Deutschland (England, Italien u. Spanien). (84 Taf.) n. 36 —. — IV. Baukunst der Renaissance in Italien, Spanien u. Frankreich. (72 Taf.) n. 32 . — V. Baukunst der Renaissance in Belgien, Holland, England. Danemark u. Schweden. (36 Taf. m. 2 S. Text.). N. 16.

Les monuments de l'Architecture. — Recueil de planches relatives à l'architecture romaine, gothique et de la Renaissance en Italie, en Espagne, en France, en Belgique, en Hollande, en Angleterre, en Danemark et en Suède.

Ebe, Archit. (Gust.). — Die Schmuckformen der Monumentalbauten aus allen Stilepochen seit der griechischen Antike. Ein Lehrbuch der Dekorationssysteme f. das Aussere u. Innere. (In 8 Thln.) VI. Thl. Spätrenaissance u. l. Barockperiode. gr. 4° (2. Bd. III u. S. 145-317 M· 126 Abbildgn.) B., W. und S. Loewenthal. N. 14.

La forme ornementale des monuments de tous les styles depuis l'antiquité grecque. — 6e partie.

Fortschritte auf dem Gebiete der Architektur. Ergänzungshefte zum Handbuch der Architektur. Nr. 11. Lex.-8°. St., A. Bergsträsser. 11. Wolff, Stadtbauinsp. Dr. Carl : Das städtische Schwimmbad zu Frankfurt a. M. Ergänzungsheft zu Thl. IV, Bd. 5, Hft. 3 des *Handbuchs der Architektur*. (III, 26 S. m. 16 Abbildgn. u. 4 Taf.) N. 3.

Les progrès du domaine de l'Architecture. — Complément au *Manuel d'Architecture*.

Gladbach, weil. Prof. (Ernst). — Der Schweizer Holzstil in seinen kantonalen u. konstruktiven Verschiedenheiten vergleichend dargestellt m. Holzbauten Deutschlands. 3. Aufl. wohlf. Ausg. I. u. II. Serie in 1 Bde. Fol. (IV, 30 u. 36 S. m. Abbildgn. u. 61 Taf.) Zürich, C. Schmidt. Kart. N. 40.

Le style suisse des constructions en bois.

Gros, Archit. (Jacq.). — Skizzen f. Wohn- u. Landhäuser, Villen, etc. Hauptsächlich Holzarchitekturen. 1 Serie. hoch 4°. (60 Lichtdr.-Taf. m. 20 S. Text.) Ravensburg, O. Maier. In Mappe. N. 20.

Croquis pour habitations, villas, etc.

Grundling, Archit. (Paul). — Moderne Wohnhäuser u. Villen. Eine Sammlg. v. Entwürfen u. Darstellgn. ausgeführter Bauten zu Miethäusern, Wohn- u. Geschäftshäusern, sowie Einfamilienhäusern u. Villen in der Stadt u. auf dem Lande. gr. 4° (30 Taf. m. 8 S. Text.) Weimar, B. F. Voigt. In Mappe 7.50.

Habitations et villas modernes.

Gurlitt (Cornelius). — Die Baukunst Frankreichs. 4. Lfg. gr. Fol. (25 Lichtdr.-Taf.) Dresden, Gilbers. In Mappe bar (à). N. 25.

L'architecture de la France.

Hittenkofer, Bauschuldir. Archit. (Baufach). — Sammel-Werke f. den Selbstunterricht (Methode Hittenkofer). Lehrfach Nr. 7/8; 14, II. Tl., 3 Hft., Übungsblätter zu 14, III. Tl. 2. u. 3. Hft.; zu 14, IV. Tl. 3 Hft.; 21 u. Übungsblätter zu 21. Strelitz, M. Hittenkofer. Bar n 19.80. 7/8. 7. Aufnahmen der Modelle. Mit 2 Abbildgn. 8 Darstellende Geometrie. Mit 7 Abbildgn. 3 Aufl. Unterweisungen u. Aufgaben. Lex.-8°. (16 S.) N. 1. — 14. II. Tl. Einführung in die Holzarchitektur. 3 Hft. Bauteile in Holzarchitektur. Mit 265 Bildern im Wortlaut. (91 S.) N. 6.60. — 14. III. Tl. Einführung in die Werksteinarchitektur. 1 Hft. Werksteinverbände. 8 Übungsblätter. gr. 4°. N. 2.40. — 2. Hft. Werksteinformen. 6 Übungsblätter. gr. 4°. N. 1.80. — 14. IV. Tl. Einführung in die Backstein-architektur. 3 Hft. 20 Übungsblätter. gr. 4°. N. 6. — 21. Bautischler-Kunst. 2. Aufl. Unterweisungen u. Aufgaben. Lex.-8°. (12 S.) N. 80; 4 Übungsblätter. gr. 4°. N. 1.20.

Recueil d'architecture (Méthode Hittenkofer).

Percier (Charles) und P. F. L. Fontaine, Architeckten. — Römische Paläste. Neudr. des im J. 1798 in Paris u. d. T.: « Palais, maisons et autres édifices modernes à Rome » erschienenen Werkes. Fol. (101 Taf.) B., B. Hessling. In Mappe. n. 60.

Palais romains.

Schmidt, Archit. Bauschuldir. (Rob.). — Das Rathaus zu Zerbst. Ein Beitrag zur Kunstgeschichte des Herzogt. Anhalt. Mit 14 Lichtdr.-Taf. u. erläut. Text. gr. Fol. (III, 12 S. m. 3 Fig.) Zerbst, F. Gast in Komm.

L'Hôtel de Ville de Zerbst.

Studien, architektonische. Neue Folge. Entwürfe. Studierenden der kgl. techn. Hochschule zu Stuttgart. Hrsg. unter Leitg. v. Prof. S. Neckelmann. Fol. (25 Lichtdr.-Taf. m. 1 Bl. Text.) St., K. Wittwer. In Mappe n. 16.

Études architectoniques. — Nouvelle série.

Scholz (E.). — Moderne Bauten. 1 Serie. 2 Lfg. B., M. Mohr. N. 6.

Constructions modernes, — 1re série.

Thiersch (Frdr.). — Das neue Justizgebäude in München. Denkschrift zur Feier der Eröffng. gr. Fol. (20 Lichtdr.-Taf. m. Text VII, 26 S. m. 13 Fig.). München, L. Werner. In Mappe. N. 18.

Le Nouveau Palais de Justice à Munich.

XII. — Divers.

Webber (Ed.). — Technisches Wörterbuch in 4 Sprachen. I. u. II. Bd. 12°. B., J. Springer. Geb. in Leinw. à n. 3. I. Deutsch-Italienisch-Französisch-Englisch. (VI, 409 S.) — II. Italiano-Tedesco-Francese-Inglese. (351 S.)

Dictionnaire technique en 4 langues (allemand, italien, français, anglais).

OUVRAGES ANGLAIS.

I. — Sciences appliquées.

Hough (S.-S.). — On the Application of Harmonic Analysis to the Dynamical Theory of the Tides. Part 1, On Laplace's « Oscillation of the First Species, » and on the Dynamics of Ocean Currents. (Phil. Trans., 1897, Vol. 189.) 8° Dulau. 2/6.

Application de l'Analyse Harmonique à la Théorie des Marées.

Johnson (Alfred-E.). — The Analyst's Laboratory Companion : A Collection of Tables and Data for the Use of Public and General Analysts, Agriculturalists, Brewers and Works' Chemists and ed., Enlarged and Improved. Cr. 8°, pp. 106. Churchill. 5/.

Manuel d'Analyse de Laboratoire.

LOVE (A.-E.-H.). — Theoretical Mechanics : An Introductory Treatise on the Principles of Dynamics, with Applications and Numerous Examples. 8°, pp. 396. Cambridge University Press. 12/.

Mécanique théorique : introduction aux principes de la Dynamique.

MONCRIEFF (Major G.-K. Scott). — The Principles of Structural Design. Part 1. Plates. Illust. 8°, pp. VII-352. Mackay (Chatham). Net, 10/6.

Principes du dessin linéaire.

STONE (T.-W.). — Simple Hydraulic Formulæ. Cr. 8°, Spons. Red., 4/.

Formules d'hydraulique.

TOWNSEND (Charles-F.). — Chemistry for Photographers. Illust. Cr. 8°, pp. 158. Dawbarn and Ward. Net, 1/.

Chimie pour les photographes.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

ADCOCK'S Engineers' Pocket Book, for the Year 1897. Valuable also to Architects, Duilders and Contractors. Cr. 8°. pp. 358. Simpkin. 4/

Manuel de Poche des Ingénieurs, pour 1897.

ALLEN (John Parnell) Pratical Building Construction : A Handbook for Students preparing for the Examination of the Science and Art Departement, the Royal Institute of British Architects, the Surveyors' Institute, etc. Designed as a Book for Persons engaged in Building. Containing over 100 Illusts. 2nd ed., Revised. Roy. 8°, pp. 462. Crosby Lockwood and Son. 7/6.

Traité pratique de Construction.

BARTLEY (B.-C.). — Marine Engineer's Record Book Engines. Cr. 8°, roan. Spons. Net, 5/.

Manuel des Ingénieurs des Constructions navales.

COLEMAN (T.-E.). — Price-Book for Approximate Estimates Compiled for the Use of Architects, Engineers, and Builders. Oblong, in-16, limp. Spons. 2/.

Recueil de Prix pour les avant-projets.

KEMP (Dixon). — Yacht Architecture : A Treatise on the Laws which Govern the Resistance of Bodies Moving in Water; Propulsion by Steam and Sail; Yacht Designing and Yacht Building. 3rd ed., largely Rewritten and Revised. Plates. Roy.

8° pp. 560. H. Cox. Net, 42/; also in 2 vols., roy. 8° and 4° net, 47/6.

Construction des yachts.

WILSON (John) Wilson's Advanced Building Construction. 8th ed. Obl. roy. 8°, pp. 112. J. Heywood. Net 1/6.

—— Wilson's Carpentry and Joinery. 9th ed. Obl. roy 8°, limp. pp. 208. J. Heywood. Net, 3/.

—— Wilson's Elementary Carpentry and Joinery. 8th ed. Obl. roy. 8°, limp, pp. 112. J. Hewood. Net, 1/8.

Progrès de la construction.

Charpente et menuiserie.

Traité élémentaire de charpente et de menuiserie.

IV. — Navigation intérieure.

COURTNEY (C.-F.). — Masonry Dams from Inception to Completion. Involving numerous Formulæ, Forms of Specification and Tender, Pocket Diagram of Forces, etc. For the Use of Civil and Mining Engineers. 8°, pp. 150. Crosby Lockwood and Son. 9/.

Barrages en maçonnerie.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

MAXWELL (William-H.). — Notes on Practical Sanitary Science. Pt. 1, Ventilation. Heating and Lighting. With numerous Illusts (Reprinted from the *Sanitary Record*.) 8°, pp. VIII-69. Sanitary Publishing Co.

Notes d'hygiène pratique : ventilation, chauffage, éclairage.

ROBERTS (Isaac-Phillips). — The Fertility of the Land : A Summary Sketch of the Relationship of Farm Practice to the Maintaining and Increasing of the Productivity of the Soil. (The Rural Science Series.) In-12, pp. 434. Macmillan. Net, 5/.

La fertilité des terres.

SCHILCH. — Manual of forestry. — Introduction to Forestry. By William Schlich. 2nd ed., Revised and Enlarged, containing a New Part on « The State in Relation to Forestry, and a General Review of the Timber Requirements of the British Empire ». Roy. 8°, pp. 312. Brasbury. Net, 6/.

—— Vol. 2. Practical sylviculture, or formation et attending of woods.

—— Vol. 3. Forest menagement.
—— Vol. 4. Forest protection.
—— Vol. 5. Forest utilisation.
Manuel du Forestier.

VIII. — Machines.

Cycle Building and Repairing. With numerous Engravings and Diagrams. Edited by Paul N. Hasluck. (« Work » Handbooks.) 12°, pp. 160. Cassell. 1/.
Construction et réparation des Cycles.

Goodeve (T.-M.). — Text-Book on the Steam Engine. With a Supplement on Gas Engines; and Part 2 on Heat Engines. 14th ed. Cr. 8°, pp. 456, Crosby Lockwood and Lon. 6/
Manuel des machines à vapeur.

Halliday (George). — Steam Boilers. (Arnold's Practical Science Series.) Cr. 8°, pp. 400. E. Arnold. 7/6.
Chaudières.

Giscox (Hardner D.). — Gas, Gasoline and Oil Vapour Engines. A New Book Descriptive of their Theory and Power. Illustrating their Design, Construction and Operation for Stationary, Marine and Vehicle Motive Power. 8°, pp. 284. Spons. 12/6.
Machines à gaz, gazéoline et vapeur d'huile.

Hurst (Charles). — Valves and Valve-Gearing. A Practical Text-Book for the Use of Engineers, Draughtsmen, and Students. With numerous Illustrations and 4 Folding Plates. 8°, pp. 144. C. Griffin. 7/6.
Des soupapes.

Jamieson (Andrew). — A Text-Book on Applied Mechanics. Specially Arranged for the Use of Science and Art. City and Guilds of London Institute, and other Engineering Students. Vol. 2. With Numerous Diagrams and Examination Questions. (Griffin's Scientific Text-Books). Cr. 8°, pp. 402. C. Griffin. 7/6.
Manuel de la mécanique appliquée.

—— A Text-Book on Steam and Steam Engines Specially Arranged for the Use of Science and Art. City and Guilds of London Institute, and Other Engineering Students. 12th ed. With Numerous Diagrams, Folding-Plates and Examination Questions. (Griffin's Scientific Text-Books). Cr. 8°, pp. 482. C. Griffin. 8/6.
Manuel de la vapeur et des machines à vapeur.

Rankine (William-John Maquorn). — A Manual of the Steam

Engine and other Prime Movers, With Numerous Engravings, Folding-Plates, and a Diagram of the Mechanical Properties of Steam. 14th ed., Revised by W. J. Millar. Cr. 8°, pp. 672. C. Griffin. 12/6.

Manuel des machines à vapeur et autres moteurs.

IX. — Électricité appliquée.

ARMSTRONG (Lord). — Electric Movement in Air and Water. With Theoretical Inferences. Folio, pp. 64 and plates. Smith, Elder and C°. Net, 30/.

Propagation de l'Électricité dans l'air et dans l'eau.

BIGGS (C.-H.-W.). — First Principles of Electricity and Magnetism. Illust. with about 350 Diagrams, etc. Cr. 8° Biggs. 3/6.

Premiers principes d'Électricité et de Magnétisme.

BORCHERS (W.) — Electric Smelting Refining : The Extraction and Treatment of Metals by Means of the Electric Current. Being the 2nd ed. of " Elektro-Mettallurgie ". Translated, with Additions, by Walter G. McMillan. With 3 Plates and numerous Illusts. in the Text. 8°, pp. 456. C. Griffin. 21/

De l'emploi de l'Électricité en Métallurgie.

BOTTONE (S.-R.).— The Dynamo : How Made, and How Used. 10th. ed. With Numerous Illustrations, and Appendix. Cr. 8°, pp. 144. Sonnenschein. 2/6.

La Dynamo.

CURRY (Charles Emerson). — Theory of Electricity and Magnetism. Witw a Preface by Ludwig Bolbzmann. Cr. 8°, pp. 458. Macmillan. Net, 2/6.

Théorie de l'Électricité et du Magnétisme.

FISHER (W.-Clark). — The Potentiometer and its Adjuncts. (The Electrician Series.) 8°, pp. 204. Electrician Pub., etc., C°. 6/.

Le Potentiomètre et ses accessoires.

JAMIESON (Andrew). — Elementary Manual of Magnetism and Electricity. Specially Arranged for the Use of Science and Art, City and Guilds of London Institute and other Engineering Students 4th ed., with Numerous Illustrated Experiments and Examination Papers. (Griffin's Scientific Text Books.) Cr. 8°, pp. 312. C. Griffin. 3/6.

Manuel élémentaire d'Électricité et de Magnétisme.

MANUAL of Electrical Undertakings, 1897. Compiled under the Direction of Emile Garcke. 19 Maps and Coloured Diagrams,

Showing Comparative Results of Working of Electricity Supply Undertakings. Fcap. 8°, pp. 598. P. S. King. Net, 7/6.

Manuel des Entreprises électriques, 1897.

Meadowcroft (William-H.). — The A B C of the X Rays. Illustrations by H.-E. Fanshawe. Cr. 8°, pp. 190. Simpkin. 4/.

L'A B C des Rayons X.

Parker (H.-C.). — A Systematic Treatise on Electrical Measurements. Roy. 8°, pp. 126. Spons. 4/6.

Traité des mesures électriques.

Sanderson (F.-W.). — Electricity and Magnetism for Beginners. With Illusts. 12°, pp. 254. Macmillan. 2/6.

Électricité et Magnétisme, pour commençants.

Scott (Ernest-Kilburn). — The Local Distribution of Electric Power in Workshops, etc. Illust. Cr. 8°, pp. 137. Biggs. 2/.

Distribution de la Force électrique dans les ateliers.

Urquhart (John-W.). — Electric Light : Its Production and Use, embodying Plain Directions for the Treatment of Dynamo-Electric Machines, Batteries, Accumulatars, and Electric Lamps. With numerous Illusts. 6th ed., Revised, with an additionnal Chapter. Cr. 8°, pp. 444. Crosby Lockwood and Son. 7/6.

La lumière électrique.

Wormell (R.). — Electricity in the Service of Man. A Popular and Practical Treatise on the Applications of Electricity in Modern Life (From the German of Dr. A. R. Von Rbanitsky). Revised and enlarged by R. Mullmeux Walmsley. With more tnan 950 Illusts. New ed. Roy. 8°, pp. 995. Cassell. 7/6.

L'Électricité au service de l'homme.

X. — Architecture.

Blomfield (Reginald). — A History of Renaissance Architecture in England, 1500-1800. 2 vols. Super royal. 8°, pp. 462. G. Bell. Net, 50/.

Histoire de la Renaissance de l'Architecture en Angleterre (1500-1800).

XII. — Divers.

Ball (R.-S.). — The Story of the Sun. 8°. Cassell red. 10/6.

Histoire du Soleil.

Thermo — Geographical Studies. General Exposition of the Ana-

lytical Method Applied to Researches of Temperature and Climate. 4°. Williams and Norgate. Net, 30/.

Études de Géographie : Températures et Climats.

OUVRAGES ESPAGNOLS.

I. — Sciences appliquées.

Aguilar y Cuadrado (D. Miguel). — Principios fondamentales, formulas y tablas de la nivelacion barométrica. Madrid, successores de Cuesta.

Principes, formules et tables relatifs au nivellement barométrique.

Campo y Ruiz Zorilla (D. Hermenegildo). — Notas adicionales al Curso de Meteorologia y Climatologia de la Escuela de Ingenieros de Montes. Madrid, Imprenta de Ricardo Royas.

Supplément au cours de Météorologie et de Climatologie de l'École des Ingénieurs forestiers.

III. — Routes. — Ponts et viaducs.

Donnet (D. Baldomero). — Las carreteras de Puerto Rico, por don Baldomero Donnet, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

Les routes de Porto-Rico.

Ribera (D. José Eugenio). — Estudio sobre los grandes viaductos. Tomo I de la *Biblioteca de la Revista de Obras publicas*. Madrid, Establecimiento tipografico de G. Juste.

Étude sur les grands viaducs.

V. — Travaux maritimes.

Churruca (D. Evaristo de). — Memoria que manifiesta el estado y progreso de las obras de mejora de la ria de Bilbao y cuenta de ingresos y gastos durante el año economico de 1896 à 1897. Bilbao. Imprenta y litografia de Juan E. Delmas.

Compte rendu de l'état et du progrès des travaux d'amélioration de l'estuaire de Bilbao.

MONDEJAR (D. Carlos) Y VALDÈS (D. Julio). — Obras del puerto de Barcelona. Aclarationes sobre la marcha y circunstancias especiales de estos importantes trabajos y estudio de las rebajas mas convenientes en el arbitrio que se percibe para su ejecucion. Barcelona. Tipo-litografia de Luis Tasso.

Les travaux du port de Barcelone.

IX. — Électricité appliquée.

AGACINO Y MARTINEZ (D. Eugenio). — Cartilla de electricidad practica. Cuarta edicion. Cadiz.

Manuel d'électricité appliquée.

X. — Architecture.

CALLEN (D. Luis), arquitecto. — El incendio en los teatros. Estadisticas, medios para dificultar la iniciacion del fuego y para evitar desgracias en caso de siniestro. Composicion y construccion de teatros à estos efectos. Disposiciones vigentes. Barcelona. Parera y compañia, editores.

Les incendies dans les théâtres. Moyens de les prévenir et de les rendre inoffensifs.

OUVRAGES ITALIENS.

I. — Sciences appliquées.

VEGETTI ENR. — Prospettiva lineare speculativa e pratica. II (La teoria delle ombre o quella dei riflessi). Milano ditta Calcaterra Luigi edit. Tip. Lombardi di Marino Bellinzaghi, 1897. 8°, *fig.* p. XI, 209, con tavola. L. 6.

1, Ombre prodotte da una fonte luminosa posta a distanza finita. 2, Ombre emananti da sorgenti poste nello spazio a distanza infinita. 3, I riflessi.

La perspective linéaire théorique et pratique.

II. — Matériaux et Procédés généraux de construction.

Nonnis-Marzano, ing. (Fr.). — La pratica e la stima dei lavori e delle opere d'arte e l'ingegneria sanitaria, con uno studio critico sulla vigente giurisprudenza intorno alle servitù prediali e nei riguardi dell'arte e dell'igiene. Opera corredata di molte tavole, utili agli ingegneri, ai periti geometri e costruttori, agli attendenti ed imprenditori di costruzioni civili, stradali, rurali ed idrauliche, ai proprietari di stabili, ai medici ed agli avvocati: appendice indispensabile al Trattato di costruzione civile, rurale, stradale ed idraulica, dello stesso autore. Disp. II. Torino, Augusto Federico Negro tip. edit., 1896. 8°, p. 361-776 (4), con dodici lavole. L. 6.

II. Il suolo e i lavori e le strutture d'arte in esso e sopra di esso in rapporto colla pratica dell'arte e dell'igiene, 1, Il suolo. 2, Drenaggio. 3, Le trivellazioni del suolo, loro utilità e costo. 4, Paludi e loro risanamento. 5, Fognatura. 6, Lavori di terra, fondazioni e loro costo. 7, Muratura, intonachi, coloritura e loro costo. 8, Scale, solai, pavimenti, soffitti, tetti e loro costo. 9, Restauri, puntellature e demolizioni nelle fabbriche; analisi del loro costo.

L'exécution et l'estimation des travaux et des ouvrages d'art.

Tacchini ing. (A.). — Trivellazione di saggio per opere di fondazione: manuale ad uso degl'ingegneri e dei costruttori. Milano, stab. tip. della casa edit. dott. Francesco Vallardi, 1897. 16°, fig. p. vij, 78. L. 1-50.

1, Considerazioni generali. 2, Piccoli scandagli a profondità da 2 a 3 metri. 3, Utensili e macchine per trivellazioni a profondità massime dai 20 ai 25 metri. 4, Norme da seguirsi nella esecuzione di una piccola terebrazione per opere di fondazione. — Piccola biblioteca degli ingegneri costruttori ed industriali.

Forages d'expérience pour les travaux de fondation.

VI. — Chemins de fer. — Tramways. — Automobiles.

Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie: norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Disp. 130

Torino, Unione tipografico-editrice, 1897. 4°, fig., p. 33-48, xvj, con sei tavole. L. 2 la dispensa.

Ponti e viadotti metallici, per l'ing. Lauro Pozzi (vol. I, parte III, cap. LX, disp. 130).

—— Disp. 131, p. 265-304, con tre tavole.

Ferrovie secondarie ed economiche, per l'ing. Luigi Polese (vol. V., parte II, cap. XIII, disp. 131.

—— Disp. 132-133, p. 1-89, con cinque tavole.

Storia dello sviluppo della macchina-locomotiva, locomotiva compound, per l'ing. Stanislao Fadda (vol. III, parte I, cap. XII, disp. 132-133).

Construction et exploitation des chemins de fer et des tramways.

Tajani, ing. (Fil.). — Un nuovo freno automatico per ferrovie funicolari. Torino, tip. lit. Camilla e Bertolero di N. Bertolero, 1897. 8°, fig., p. 15.

Un nouveau frein automatique pour les chemins de fer funiculaires.

—— Studî sulle ferrovie funicolari. Torino, tip. lit. Camilla e Bertolero, 1897, 8°, fig., p. 70.

Études sur les chemins de fer funiculaires.

VII. — Génie rural. — Assainissement. — Distribution d'eau.

Raddi, ing. (A.). — L'acqua potabile per la città di Chiavari : studî e proposte. Chiavari, tip. lit. succ. Argiroffo, 1897, 16°, p. 94.

L'eau potable pour la ville de Chiavari : études et propositions.

X. — Architecture.

Architettura (L') nella storia e nella pratica (seguito alle Costruzioni civili di G. A. Breymann). Volume I-II, fasc. 49-51. Milano, stab. stip. dell'antica casa edit. dott. Francesco Vallardi, 1897. 4°, fig., p. 25-48, 25-48, con tredici tavole. L. 2 il fascicolo.

1, Degli stili nell'architettura, pel prof. Luigi Archinti (vol. I, fasc. 51 ; vol. II, fasc. 49). 2, Dell'ornamento nell'architettura, pel prof. Alfredo Melani (vol. II, fasc. 50).

—— Volume I-II, fasc. 52-56., p. XIJ, 49-96, 49-96, con venti tavole.

1, Degli stili nell'architettura, pel prof. Luigi Archinti (vol. I, fasc. 34; vol. II, fasc. 52 e 55). 2, Del l'ornamento nell'architettura, pel prof. Alfredo Melani (vol. II, fasc. 53-56).

L'Architecture dans l'histoire et dans la pratique.

XI. — **Administration. — Législation.**

Appendice (Prima) al codice delle strade ferrate (n° 141 della Biblioteca legale). Napoli, tip. casa edit. E. Pietrocola, 1896, 16°, p. 288. L. 1-50.

Premier appendice au code des chemins de fer.

XII. — **Divers.**

Byrne e Spon. — Dizionario di ingegneria civile, meccanica, militare e navale, colla sinonimia tecnica inglese, francese, tedesca e spagnuola, illustrato da oltre 10.000 figure intercalate. Traduzione dalla compilazione inglese, per Egidio Garuffa. Fasc. 175-182. Milano, Società editrice libraria, 1897, 4°, fig. p. 145-400. L. 1 il fascicolo.

Dictionnaire de l'ingénieur civil, mécanicien, militaire et naval (traduit de l'anglais).

1897. — 4e TRIMESTRE.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE D'INSERTION.

TABLE GÉNÉRALE

DES MATIÈRES PUBLIÉES EN 1897

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Bulletin de la Société d'encouragement. — (*Septembre* 1897) Ch. Frémont. — Etude expérimentale du cisaillement et du poinçonnage des métaux	4	221	
—— (*Octobre* 1897) Ch. Frémont. — Nouvelle méthode d'essai des matériaux	4	221	
Bulletin de la Société des Ingénieurs civils. — (*Juillet* 1897) A. Lencauchez. — Etude sur le mouvement des fluides dans les appareils à force centrifuge	3	359	
Le Ciment. — (25 *avril*, 25 *mai* 1897, et suiv.). — Du calcul des ouvrages en ciment armé. Les voûtes	2	384	
—— (15 *novembre* 1897) Stellet. — Du calcul des planchers et poutres en ciment armé	4	221	
Le Génie civil. — (19 et 26 *décembre* 1896) Ch. Frémont. — Lignes de Lüders ou lignes superficielles qui apparaissent sur les métaux déformés	1	321	
Nouvelles Annales de la Construction. — (*Juin* 1897) L. Lefort. — Jaugeages des petits cours d'eau	3	359	
—— (*Août* 1897) G. Dariès. — Application de la nomographie au calcul des conduites d'eau.	3	359	
Revue générale des Chemins de fer. — (*Avril* 1897) Carcanagues. — Recherches expérimentales sur l'échauffement de l'air parcourant un tuyau maintenu extérieurement à une température déterminée. — Applications à l'étude de la possibilité de la transformation de la locomotive en machine à condensation	2	384	
Revue technique. — (10 *avril* 1897). — Machine à résoudre les équations numériques.	2	384	
Allemands			
Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. — (1896, 7e fascicule) Prof. Muller de Brunswick. — Contribution au calcul des ondes et du mouvement de flux et de reflux de l'eau	1	344	
Zeitschrift für Bauwesen. — (1897, fascicules IV à VI) R. Jasmund. — La variation des vitesses dans la section transversale d'un cours d'eau	3	381	
Anglais			
Engineering. — (19 *mars* 1897) Ad. Martin. — Ecoulement des gaz et des vapeurs à travers les conduites	2	413	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	NUMÉROS DES pages	NUMÉROS DES planches
Hollandais			
Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs. — (Année 1896-97, livraison 4) TUTEIN NOLTHENIUS. — Essais faits sur des tôles de Monier	4	305	
II. — MATÉRIAUX et PROCÉDÉS GÉNÉRAUX de CONSTRUCTION			
MÉMOIRES, NOTES, ÉTUDES, ETC.			
Bechmann. — Note sur le nouveau mode de construction des souterrains appliqué au collecteur parisien de Clichy	1	267	7
CHRONIQUES ET BIBLIOGRAPHIES			
Résal et Alby. — Note sur l'écrouissage des aciers laminés par le travail à froid	2	342	
COMPTES RENDUS DES PÉRIODIQUES			
Français			
Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer. — (*Juillet* 1897) VON DORMUS. — Etudes et considérations sur les inégalités de texture et de composition des rails d'acier	3	359	
—— (*Juillet* 1897) L. TETMAJER. — Transformation des procédés basiques de fabrication de l'acier pour rails et des méthodes d'essais des rails d'acier	3	360	
Bulletin de la Société d'Encouragement. — (*Août* 1897) THIERRY. — Les transports par câbles aériens	3	360	
Le Ciment. — (*Décembre* 1896) Résumé succinct du rapport de la Commission des Voûtes de l'Association des Architectes et Ingénieurs autrichiens	1	322	
—— (*Février* 1897) J. ALLARD. — Note sur l'influence de la température dans la durée de prise des ciments prompts (de Grenoble)	1	322	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Le Ciment. — (*Février* 1897) M. DE TEDESCO. — Du calcul des planchers en ciment armé....	1	323	
—— (25 *Septembre* 1897). — Rapport de la Commission d'enquête de l'Association des fabricants de ciment Portland allemands sur l'influence de l'eau de mer sur les mortiers hydrauliques....	4	222	
Le Génie civil. — (5 *Décembre* 1896). — Organisation d'un chantier pour l'exécution d'un égout en Amérique....	1	323	
—— (16 *janvier* 1897). — Perforation électrique d'une galerie....	1	323	
—— (23 *janvier* 1897). — Four continu pour la fabrication du ciment....	1	323	
—— (6 *Février* 1897) G. RICHOU. — Pont roulant électrique de 60 mètres de portée....	1	323	
—— (20 *février* 1897). — Étude comparative sur les procédés de cuisson de la chaux....	1	324	
—— (24 *avril* 1897). — Emploi de l'air comprimé dans la construction du réservoir de Jérôme Park à New-York....	2	384	
—— (24 *avril* 1897). — Conditions d'établissement des dynamitières....	2	385	
—— (22 et 29 *mai* 1897) F. SCHIFF. — Appareils de levage électrique à courants continus....	2	385	
—— (29 *mai* 1897). — Nouvelle drague marine à godets, à succion et à refoulement mise en service en janvier 1897, pour les travaux du port de Théodosie en Crimée....	2	385	
—— (5 *juin* 1897). — La brouette chinoise....	3	361	
Nouvelles Annales de la Construction. — (*Janvier* et *février* 1897 et suiv.) L. LEFORT. — Consolidations des tranchées argileuses....	1	324	
Portefeuille économique des Machines. — (*Janvier* 1897). — Chronique. — Emploi de tuyaux en papier pour les conduites de gaz..	1	324	
Revue générale des Chemins de fer. — (*Février* 1897). — Résistance des tirefonds à l'arrachement, d'après l'*American Machinist*....	1	324	
Revue industrielle. — (13 *mars* 1897) P. CHEVILLARD. — Brouette peso-chargeur, système David et Trophême....	2	385	
—— (2 *octobre* 1897). — Nouveau procédé de fondation dans les terrains compressibles (Procédé Dulac)....	4	222	
Revue technique. — (10 et 25 *décembre* 1896). — Les propriétés du ciment de laitier d'après les expériences de Zurich....	1	324	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	NUMÉROS DES pages	NUMÉROS DES planches
Revue technique. — (25 *décembre* 1896). — Fabrication de treillis en métal déployé par découpage et étirage simultanés des plaques métalliques	1	325	
—— (10 *janvier* 1897). — Appareil et méthode pour déterminer la résistance du sol	1	325	
—— (10 *février* 1897). — Clous en clameaux de l'ingénieur Fenderl, avec pointe entaillée en queue d'aronde	1	325	
—— (25 *mars* 1897) P. MACHAVOINE. — Fonçage des puits de mine et exécution des travaux d'art par congélation	2	385	
—— (10 *avril* 1897). — Nouvelle machine à essayer les matériaux à l'écrasement. Système Richter	2	386	
—— (25 *juin* 1897) L. LECLERC. — Les applications du béton de ciment armé. — Procédé Hennebique	3	361	
—— (25 *août* 1897). — Nouvelle méthode pour déterminer la dureté des pièces de fonte	3	361	
Anglais			
American Society of civil Engineers. — (*Février* 1897) A. LUNDTEIGEN. — Observations sur le mortier de ciment de Portland	2	413	
—— (*Mai* 1897 D.-D. CLARKE. — Déformations des conduites en tôle d'acier rivée, sous l'action des remblais	3	400	
—— (*Mai* 1897) A.-C. CUNNINGHAM. — Relation entre la résistance et la composition chimique de l'acier	3	400	
—— (*Mai* 1897) J.-E. GREINER. — Expériences sur la rupture de pièces de pont	3	401	
—— (*Mai* 1897) GOLDMARK. — Travaux de la « Pioneer Electric Power C[y] » pour la création d'une station de force motrice à Ogden (Utah).	3	401	
Engineering. — (*Février avril* 1897) TH. ANDREWS. — Observations microscopiques sur les modifications subies par le fer et l'acier sous l'influence du travail	2	414	
Engineering News. — (16 *septembre* 1897). — Excavateur à vapeur de 60^T,960	4	270	
Engineering Record. — (6 *mars* 1897). — Fondations dans les terrains d'alluvion	2	414	
—— (*Mars-avril* 1897) F.-H. LEWIS. — L'industrie du ciment en Europe	2	415	
—— (25 *septembre* 1897). — Nettoyage des viaducs métalliques au moyen d'un jet de sable.	4	271	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Journal of the Royal Institute of British Architects. — (*Avril* et *décembre* 1896) — Expériences sur la résistance de la maçonnerie de briques	1	360	
Scientific American. — (9 *janvier* 1897) H.-K. Laudis. — Acier-nickel	1	366	
Belges			
Annales des Travaux publics de Belgique. — (*Avril* et *juin* 1897) E. Froidure. — Les procédés de consolidation des talus des tranchées. — Rapport sur la mission faite aux chemins de fer de l'Est français	4	299	
Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer. — (*Octobre* 1897) J.-E. Stead. — Examen microscopique et mécanique de vieux rails et bandages en acier	4	301	
Revue universelle des Mines, de la Métallurgie, etc. — (Liège, *septembre* 1897) H. Detienne. — Notes sur la fabrication et les propriétés du ciment de laitier	4	301	
Espagnols			
Revista de Obras publicas. — (1er, 8 et 15 *juillet* 1897) N. Puig de la Bellacasa. — Travaux de consolidation de la ligne de Huesca à la frontière de France par Canfranc	3	428	
—— (22 *juillet* 1897) M. de Zafra. — Brouettes de grande capacité	3	429	
Hollandais			
Bulletin de l'Institut Royal des Ingénieurs. — (Année 1895-1896, livraison 5). Schroeder van der Kolk. — Résistance des rivets	2	439	
Ingénieur. — (Livraison du 20 *novembre* 1897). — Excavateur	4	306	
Italiens			
Giornale del Genio civile. — (*Avril* 1897) F. Cavaliere. — Note sur la construction du tronçon Roccaravindola-Isernia de la ligne Caianello-Isernia	3	434	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Le Génie civil. — (8 *mai* 1897) A. Butin. — Le pont François-Joseph sur le Danube, à Buda-Pesth	2	387	
—— (26 *juin* 1897) A. Dumas. — Le pont Alexandre III sur la Seine. — Projet définitif.	3	361	
—— (31 *juillet* 1897) A. Dumas. — La rupture du pont sur l'Adour, à Tarbes. — Description des ponts Marcille	3	361	
—— (4 *septembre* 1897) E. Laye. — Pont Lépine sur la tranchée du chemin de fer du Nord, à Paris	4	223	
—— (11 *septembre* 1897) A. Dumas. — Le pont Alexandre III sur la Seine; caissons de fondation	4	223	
—— (25 *septembre* 1897). — Le pont de la Tour, à Londres. — Description de la partie mobile de l'ouvrage et de la machinerie	4	224	
—— (23 *octobre* 1897) A. Dumas. — Le nouveau pont Faidherbe à Saint-Louis (Sénégal)..	4	224	
—— (20 et 27 *novembre* 1897). — Concours des poids lourds organisé par l'Automobile-Club de France. — Rapport de la Commission	4	227	
Revue industrielle — (23 *janvier* 1897) H. Poisson. — Pont de la rue de Tolbiac, à Paris	1	325	
Revue technique. — (25 *février* 1897) J. Prouteau. — Pont roulant hydraulique du port de Cherbourg	1	326	
—— (10 *mai* 1897). — Appareil de démarrage Beeton	2	389	
Allemands			
Centralblatt der Bauverwaltung. — (1897, n°s 12, 13 et 14) Karl Henneking. — Concours pour l'établissement d'un pont-route sur l'Elbe, près de Harbourg	3	382	
—— (1897, n° 13, A). — Le viaduc de Müngstein.	3	383	
Zeitschrift des Architekten -und Ingenieur Vereins, zu Hanover. — (1896, fascicules 1-2) Reihling. — Ponts en pierre et en béton avec voûtes articulées	3	383	
Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architektur Vereins. — (n° 50, 11 *décembre* 1896, Vienne) Paul. — Le nouveau pont de chemin de fer au pied de la chute du Niagara	1	344	
Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. — (1897, fascicule 5) Hermann Klette. — Le pont de la Reine-Charlotte, à Dresde	4	245	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. — (1897, fascicule 6) GRAVENHORST. — La mesure de l'usure des chaussées empierrées et le calcul de la quantité de pierres nécessaires d'après le nombre et la charge des essieux	4	247	
Zeitschrift für Bauwesen (1897, fascicules I à III) MOELLER. — Les voûtes avec poutre en bretelle, système Möller	2	402	
—— (1897, fascicules IV à VI) TEICHGRÄBER. Renforcement de la superstructure métallique du pont sur la Hafel de Rathenow	3	384	
Anglais			
American Society of civil Engineers. — (*Avril* 1897) G.-W. TILLSON. — L'asphalte et les chaussées en asphalte	2	415	
Engineering. — (*Avril* 1897). — Nouveau pont de Rock Island sur le Mississipi	2	416	
Engineering News. — (17 *décembre* 1896). — Pont de Rock Island (Illinois)	1	367	
—— (18 *mars* 1897). — Expériences sur la résistance à la traction sur les routes ordinaires exécutées par le Département de l'Agriculture	2	416	
—— (25 *mars* 1897). — Pont de Livermore Falls	2	417	
—— (1er *avril* 1897). — Pont suspendu sur l'Ohio, à Rochester	2	417	
—— (1er *avril* 1897). — Pont suspendu sur l'Ohio, à East-Liverpool	2	417	
—— (22 *avril* 1897). — Nouveau pont de chemin de fer sur les gorges du Niagara	2	417	
—— (22 *avril* 1897) M. G. SCHNIKE. — Nouveau pont à bascule de Huron Street, à Milwaukee	2	417	
—— (2 *juin* 1897). — Pont sur le Saint-Laurent, à Montréal	1	367	
—— (17 *juin* 1897) R. GRIMSHAW. — Décoration des grands ponts en Europe	3	401	
—— (8 *juillet* 1897). — Pont tournant de Chicago	3	401	
—— (15 *septembre* 1897). — Pont-levis de North Halsted Street, à Chicago	4	271	
The Engineering Record. — (31 *octobre* 1896). — Pont à bascule projeté sur le Newton Creek	1	368	
—— (24 *avril* 1897). — Pont en arc du Niagara Railroad	3	402	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
The Engineering Record. — (1er mai 1897). — Le pont de la 4e Rue à Newark	3	404	
—— (7 août 1897). — Pont tournant de Duluth.	4	272	
Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers (1897. t. I) G.-E.-W. Cruttwell. — Le pont de la Tour (superstructure)..	2	418	
—— (1897, t. I) S.-G. Homfray. — La machinerie du pont de la Tour....................	2	419	
—— (1897, t. I) C.-V. Bellamy. — Le pont Victoria, à Colombo	2	419	
—— (1897, t. II) P. Allan. — Pont en bois de Wagga Wagga (Australie)..................	3	404	
—— (1897, t. II) J. Triffit. — Pont tournant à Selby North-Eastern Railway..............	3	405	
Scientific American. — (20 *septembre* 1896). — Pont-levis sur le chemin de fer Erie	1	368	
—— (8 *mai* 1897). — Pont de Blackwell'Is sland, à New-York	4	273	
—— (17 *juillet* 1897). — Pont tournant de la 3e avenue sur la rivière de Harlem, à New-York	4	274	
—— (2 *octobre* 1897). — Développement de l'outillage pour l'exécution des chaussées d'asphalte	4	274	
—— (6 *novembre* 1897). — Rapide changement d'un tablier métallique sur un chemin de fer en exploitation	4	275	
Belges			
Annales des Travaux publics de Belgique. — (*Décembre* 1896) Belinne et Cornu. — L'entretien des chaussées empierrées par rechargements généraux cylindrés............	1	398	
Espagnols			
Revista de Obras publicas. — (18 *mars* 1897). — Le pont suspendu de Santa-Isabel	3	430	
Hollandais			
Bulletin de l'Institut Royal des Ingénieurs. — (Année 1896-1897, livraison 3) van Ameyden van Duym. — Pont sur le fleuve Zwarte Water, à Hasselt (province d'Overyssel).	2	440	
Italiens			
Giornale del Genio civile. — (*Janvier-février* 1897) Aug. Polidori. — Les travaux d'aménagement du pont Elius ou Saint-Ange, à Rome.	3	435	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Le Génie civil. — (18 *septembre* 1897) G. Richou. — Rupture des deux barrages de Melzingah (Etat de New-York.).................	4	227	
—— (23 *octobre* 1897).— Nouveau procédé pour la défense des rives contre la corrosion des eaux.	4	228	
Nouvelles Annales de la Construction. — (*Novembre* 1897) Lefort. — Ponts-canaux métalliques. — Raccords aux joints des bâches avec les maçonneries des culées.............	4	229	
Revue technique (10 *juin* 1897). — Etat actuel des travaux du canal de Panama......	3	364	
—— (25 *juin* 1897). — Ascenseur à flotteurs pour bateaux installés près de Heinrichenburg, sur le canal d'Ems à Dormund.............	3	364	
—— (25 *juillet* 1897). — La traction électrique des bateaux par les procédés de la Société Denèfle, Michel, Gaillot, Papot et Brueder....	3	364	
Allemands			
Allgemeine Bauzeitung (1897, 1er fascicule) Stern. — Etude pour la régularisation du Danube près de Linz en vue des basses eaux.	2	403	
—— (1897, fascicule II) Alfred Ritter Weber d'Ebenhof. — La régularisation de la Thaya.	3	385	
—— (1897, fascicule III) Josef Bezpalec. — Les travaux d'eau dans la région des étangs de Wittingau, après l'inondation de l'année 1890.	4	248	
Centralblatt der Bauverwaltung. — (1897, n° 8) Garbe. — Le trafic du port de Berlin pendant l'année 1896.........................	3	385	
Oesterreichische Monatschrift für den offentlichen Baudienst. — (*Janvier* 1897). — Le canal du Danube à la Moldau et à l'Elbe..	3	387	
Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen (1897, fascicules 1 et 2, G. Grasch. — La construction du nouveau port de commerce d'hiver, dit port du Roi-Albert, à Dresde-Friedrichstadt........................	1	345	
Zeitschrift für Bauwesen. — (1897, fascicules I à III) Unger. — La régularisation du cours du Rhin, entre Bingen et Saint-Goar.........	3	387	
—— (1897, fascicules I à III) Roessler. — L'écluse d'entrée du port de Kostheim........	3	388	
—— (1897, fascicules VII à IX) Albert Rudolph. — La régularisation de l'embouchure de la Weichsel.—Les machines de l'écluse d'Einlage.	4	249	
—— (1897, fascicules 7 à 9) Müller et Rudolph. — La régularisation de l'embouchure de la Weichsel.— Le bac à vapeur de Schiewenhorst.	4	250	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Anglais			
Engineering. —(23 *juillet* 1897) C.-H. MOBERLY. — Le Volga	3	405	
— (26 *novembre* 1897). — Bac à vapeur	4	275	
Engineering News (3 *décembre* 1896). — Réservoir et canaux d'irrigation du mont Nebo (Utah)	1	369	
— (3 *décembre* 1896). — Barrages mobiles sur la rivière Great Kanawha (Virginie.)	1	369	
— (11 février 1897). — Manutention des charbons à Clydebourne-Ave-Docks Chicago.	1	370	
— (22 *avril* 1897) W. STARLING. — Les crues du Mississipi	2	419	
— (1er *juillet* 1897) W. STARLING. — La crue du Mississipi en 1897	3	405	
— (2, 16 et 23 *septembre* 1897). — Travaux d'amélioration des canaux de l'Etat de New-York	4	276	
Engineering Record — (19 *juin* 1897). — Réservoir n° 2 de Pittsburg	3	407	
Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers. — (1897, t. II) J. PENNYCUICK. — Dérivation du Periyar (Indes)	3	405	
— (1897, t. II) W.-H. THOMAS. — Construction d'une écluse à sas et d'un barrage sur la rivière Darenth à Dartford	3	407	
— (1897, t. III) S.-S. LEACH. — La navigation intérieure aux Etats-Unis	4	277	
Scientific American. — (21 *août* 1897). — Le bac porte-train « Perc Marquette »	4	277	
Belges			
Annales des Travaux publics de Belgique. — (*Avril* 1897) J. PIERROT et H. VANDERVIN. — Les dragages du Mississipi. Rapport de mission	2	438	
— (*Août* 1897) E. MAROTTE. — Les travaux d'amélioration de la Meuse	4	303	
— (*Août* 1897) Les procédés en usage dans les Pays-Bas et en Allemagne pour opérer la rupture des glaces sur les voies maritimes. Compte rendu d'une mission accomplie par M. l'Inspecteur général Troost et par MM. les Ingénieurs en chef Pierrot, Van Gansberghe et Royers	4	303	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Hollandais			
Ingénieur, Organe de la Société des Ingénieurs civils. — (12 *septembre* 1896). — L'emploi du bois de djati	2	440	
V. — TRAVAUX MARITIMES			
MÉMOIRES, NOTES, ÉTUDES, ETC.			
Bezault. — Note sur le port de Sfax	4	160	»
Joly (de). — Note sur le creusement d'un chenal à travers la barre des Charpentiers à l'embouchure de la Loire	1	193	4 et 5
Joly (de). — L'éclairage électrique des côtes de France et le phare d'Eckmühl	4	71	30
Regnoul. — Note sur la construction du phare de Raz-Tina : Tour en béton d'une hauteur de 44 mètres au-dessus du sol	1	252	6
Ribière. — Précision et rendement des appareils optiques de phares	4	116	»
CHRONIQUES ET BIBLIOGRAPHIES			
Charguéraud. — Note sur l'emploi d'un caisson mobile pour la réparation des murs de quai du bassin Carnot au port de Calais	1	298	8
Lidy. — Note sur l'altération des métaux par l'eau de mer	3	338	
Zürcher. — Note sur le niveau moyen de la mer dans la Méditerranée	1	295	
COMPTES RENDUS DES PÉRIODIQUES			
Français			
Le Ciment. — (*Décembre* 1896). — Les applications du ciment armé au port franc de Copenhague	1	328	
Le Génie civil. — (12 et 19 *décembre* 1896) A. Dumas. — Travaux d'extension du port de Dunkerque. — Les bassins Freycinet et l'écluse Trystram. Les formes de radoub et la jetée de l'Est. — Outillage du port	1	329	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Le Génie civil. — (2 *janvier* 1897). — Dock à manœuvre hydraulique de l'Union Iron Works, à San-Francisco (Etats-Unis)	1	329	
—— (10 *avril* 1897) G. Richou. — Travaux du port de Constantza (Roumanie)..............	2	389	
—— (22 *mai* 1897) G. Richou. — Travaux d'amélioration et de renforcement des forts de la digue de Cherbourg.........................	2	389	
—— (18 *septembre* 1897) A. Dumas. — Les grues électriques du port du Havre................	4	229	
—— (16 *octobre* 1897). — Dock flottant de Saint-Paul-de-Loanda........................	4	230	
—— (30 *octobre* 1897) G. Renel. — Ferry-boats employés en Danemark....................	4	230	
Nouvelles Annales de la Construction. — (*Janvier* 1897). — Appareils employés pour le renflouement des navires naufragés, d'après l'*Engineering*	1	329	
Revue technique. — (10 *mai* 1897) M. Dibos. — Note sur les dangers de la navigation à l'embouchure de la Seine...................	2	389	
—— (25 *juillet* 1895) Création de nouveaux bassins dans le port de Hambourg..........	3	365	
—— (25 *septembre* 1897) J. Prouteau. — Bigue de 80 tonnes du port de Bordeaux...........	4	231	
Allemands			
Centralblatt der Bauverwaltung. — (6 *janvier* 1897, n° 1, A). — L'amélioration du canal de la mer du Nord, d'Amsterdam à Ymuiden....................................	1	348	
Zeitschrift für Bauwesen. — (1897, fascicules I à VI) Fülscher. — La construction du canal de l'Empereur-Guillaume.............	3	388	
—— (1897, fascicules I à VI) Anderson. — Histoire de la construction du port de Stolpmünde	3	389	
—— (1897, fascicules VII à IX) Fülscher. — La construction du canal de l'Empereur-Guillaume................................	4	251	
Anglais			
Engineering. — (11 *décembre* 1896). — Forme flottante de la Havane.......................	1	370	
—— (29 *janvier* 1897). — Elévateur à grains, pneumatique	1	370	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES		
	trimestres	pages	planches
Engineering. — (23 *avril* 1897). — Machinerie d'épuisement de la nouvelle forme de radoub de l'*Union Dry Dock* à Newport	2	419	
—— (14 *mai* 1897). — Titan de 40^{T},640 pour le port de la Vera-Cruz	3	408	
—— (2 *juillet* 1897). — Elévateurs à grain pour le Danube	3	408	
—— (2 *juillet* 1897). — Grue mobile de 25 tonnes de South-Shields	3	408	
—— (16 *juillet*) J.-C. Tuxen. — Bacs porte-trains, bateaux brise-glaces danois..........	3	409	
—— (20 *août* 1897). — Drague à succion « Octopus » pour le Gouvernement de Natal..	4	278	
—— (10 *septembre* 1897). — Dock flottant de Saint-Paul-de-Loanda.......................	4	278	
Engineering News. — (18 *février* 1897). — Accident aux jetées du Mississipi	2	419	
—— (18 *mars* 1897). — Travaux du port de Galveston	2	420	
—— (26 *août* 1897). — Port de Québec	4	278	
Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers. — (1896, vol. IV) P.-W. Britton. — Transport, emmagasinage, manutention des grains....................	1	371	
—— (Année 1896, vol. IV) D.-T. Jacintzoff. — Construction du port militaire de Libau......	1	372	
—— (1897, t. II) J.-A. Prior. — Bacs porte-trains en usage au Danemark...............	3	409	
—— (1897, t. III) Donaldson. — Magasins pour la conservation des viandes congelées au « London and India docks »	4	280	
Belges			
Annales des Travaux publics de Belgique. — (*Décembre* 1896). — Le prolongement de la rade d'Anvers....................... ..	1	398	
—— (*Février* 1897) E. Bodart. — Le canal maritime de la Basse-Loire. Le port de Nantes..	2	439	
—— (*Avril* 1897) Van der Schueren. — Nouvelles installations maritimes du port d'Ostende...................................	2	439	
Espagnols			
Revista de Obras publicas. — (3, 17 et 24 *décembre* 1896) A. Sonier. — Le port de Valence	1	399	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Revista de Obras publicas. — (7, 14, 28 *janvier*, 4 et 11 *février* 1897) F. MARTINEZ. — Monographie du port de Carthagène...............	1	401	
—— (8 *avril* 1897). — Emploi de caissons métalliques dans la construction des digues à la mer....................................	3	431	
Hollandais			
Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs. — (Année 1896-97, livraison V) LINDO. — Mur de revêtement bâti le long des dunes à Schéveningue..............................	4	306	
Russes			
Izvestia Sobrania Ingenerov Pouteï Soobchtchénia. — (*Nov.* 1896) V.-E. TIMONOV. — La question de la construction, à Vladivostok, d'un quai pour les navires de commerce....................................	2	443	
—— (*Décembre* 1896) V.-E. TIMONOV. — Sur le choix d'un emplacement pour le port où aboutira sur l'Océan Pacifique le chemin de fer Sibérien..................................	2	446	
—— (*Décembre* 1896) JARINTSOF. — Elévateurs pneumatiques............................	2	449	
VI. — CHEMINS DE FER TRAMWAYS, AUTOMOBILES			
MÉMOIRES, NOTES, ÉTUDES, ETC.			
Nadal (J.). — Théorie de la stabilité des locomotives..............................	3	271	
CHRONIQUES ET BIBLIOGRAPHIES			
Humbert (G.). — Berlin et ses chemins de fer (1846-1896). Ouvrage publié sous les auspices du Ministre des travaux publics de Prusse (Berlin, 1896) (*Bibl.*)................	1	317	
Küss. — Note sur des essais de voitures à vapeur sur routes pendant l'hiver 1896-1897....	2	345	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	NUMÉROS DES pages	NUMÉROS DES planches
Revue générale des Chemins de fer. — (*Mai* 1897). — La nouvelle gare centrale de Boston	2	393	
—— (*Juin* 1897) E. Sartiaux. — Note sur les divers appareils de manutention électro-magnétique employés sur le réseau du chemin de fer du Nord.	3	365	
—— (*Juin* 1897) Le Bris. — Reconstruction des ponts de la ligne de Paris au Havre sur la Seine.	3	366	
—— (*Juin* 1897) R.-H. Angier. — L'équilibre des masses dans les locomotives et ses effets.	3	366	
—— (*Juillet* 1897) Couard. — Note sur la déformation permanente de la voie. — *Deuxième partie.* — Déformation verticale des rails....	3	366	
—— (*Août* 1897) F. Delaunay. — Note sur la gare de triage de Condren (réseau du Nord)..	3	367	
—— (*Septembre* 1897). — Les chemins de fer du globe en 1895	4	231	
—— (*Septembre* 1897) A. Mathieu. — Note sur les installations de la gare du Bourget-Triage.	4	231	
—— (*Septembre* 1897) Salomon. — Essais comparatifs de traction entre la machine compound de la Compagnie du Midi n° 1760 et les machines de la Compagnie de l'Est de la série 800	4	232	
—— (*Octobre* 1897). — La voie et la crémaillère du chemin de fer de la Jungfrau....	4	233	
—— (*Octobre* 1897) Morard. — Note sur une application des paraneiges faite par la Compagnie P.-L.-M.	4	234	
—— (*Novembre* 1897). — Récents perfectionnements des locomotives américaines........	4	234	
—— (*Novembre* 1897). — Grands parcours sans arrêts des trains anglais....................	4	234	
Revue industrielle. — (16 *janvier* 1897). — Eclairage des voitures de chemins de fer à l'acétylène..	1	334	
—— (17 *avril* 1897). — Transporteur électrique aérien pour colis, système Aspinall..........	2	393	
Revue technique. — (10 *janvier* 1897). — Eclairage des wagons par une dynamo commandée par un essieu....................	1	334	
—— (10 *janvier* 1897) E. Dieudonné. — La traction électrique à Châlons-sur-Marne	1	334	
—— (10 *janvier* 1897) de Leyma. — Chemin de fer à voie mobile (système Blot) pour le transport des visiteurs à l'Exposition de 1900.	1	334	
—— (25 *janvier* 1897) E. Boistel. — Nouveau trolley de la Compagnie Walker............	1	335	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Archiv für Eisenbahnwesen. — (1897, fascicule II, *mars* et *avril*) : 1° MERTENS. — Examen des tarifs des céréales en Russie, pendant l'année 1896 ; 2° BLUM. — La vitesse des trains express ; 3° Les chemins de fer en Alsace-Lorraine et dans le Luxembourg (du 1er *avril* 1895 au 31 *mars* 1896) ; 4° THAMER. — La récolte des céréales et les chemins de fer en Allemagne, en 1895 ; 5° TOLSDORFF. — Les chemins de fer de l'Etat prussien en 1895-1896 ; 6° Les chemins de fer portugais en 1895 ; 7° Les chemins de fer des Etats-Unis d'Amérique pendant les années 1893-1894 et 1894-1895	3	389	
—— (1897, fascicule III, *mai* et *juin*) : 1° MERTENS. — Examen des tarifs des céréales en Russie pendant l'année 1896 (*fin*) ; 2° La loi sur les chemins de fer danois, du 24 *avril* 1896 ; 3° Les chemins de fer du monde, de 1891 à 1895 ; 4° Les tarifs de marchandises sur les chemins de fer de la colonie de Victoria (Australie) ; 5° Les chemins de fer de l'Etat bavarois pendant l'année 1895 ; 6° Les institutions de bienfaisance des chemins de fer de l'Etat bavarois ; 7° Les chemins de fer de la Scandinavie pendant l'année 1894-1895........	3	390	
—— (1897, fascicule IV, *juillet* et *août*) : 1° Extension du réseau des chemins de fer de l'Etat prussien pendant l'année 1897 et participation de l'Etat à la construction des petites lignes et à l'établissement d'entrepôts agricoles pour les grains ; 2° Le métropolitain de Berlin : son développement pendant les années 1892-1893 à 1895-1896 ; 3° MERTENS. — Les chemins de fer russes pendant l'année 1894 ; 4° SCHUBERT. — Le service des barrières fait par les femmes ; 5° Les chemins de fer au Danemark pendant l'année 1895-1896........	3	392	
—— (1897, fascicule V, *septembre* et *octobre*) : 1° FLECK (G.). — Etude sur l'histoire des chemins de fer prussiens ; 2° THAMER (C.). — Le mouvement des mar-			

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
chandises sur les chemins de fer allemands en 1886 (étude statistique); 3° THIESS (F.). — Le chemin de fer d'Ussuri; 4° RUDOLF NAGEL. — Les chemins de fer de Hongrie en 1895 (compte rendu statistique); 5° Les chemins de fer de l'Inde anglaise pendant l'année 1895-1896 (compte rendu statistique)........	4	256	
Archiv für Eisenbahwesen. — (1897, fascicule VI, *novembre* et *décembre*): 1° FLECK (G.). — Etude sur l'histoire des chemins de fer prussiens (*fin*); 2° MERTENS. — Le mouvement des marchandises sur les chemins de fer russes pendant l'année 1894 (compte rendu statistique); 3° Les chemins de fer en Allemagne, en Angleterre et en France pendant les années 1893 à 1895; 4° Les chemins de fer de l'Etat Vurtembergeois pendant l'exercice 1895-1896 (compte rendu statistique); 5° Les chemins de fer du Grand-Duché de Bade en 1895 (compte rendu statistique); 6° Les chemins de fer des Pays-Bas en 1895 (compte rendu statistique); 7° Les chemins de fer belges en 1895 (compte rendu statistique); 8° Les chemins de fer roumains; 9° Les chemins de fer en Australie (compte rendu statistique)........	4	256	
Centralblatt der Bauverwaltung. — (1897, n°° 17, A, et 19 A) SCHUBERT. — Les chemins de fer de l'Allemagne pendant l'exercice 1895-1896........	3	392	
Oesterreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst. — (*Janvier* 1897) FRANZ RITTER DE KREIM. — Quelques chemins de fer électriques en Allemagne........	3	392	
Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. — (1896, 12° fascicule) DE BUSSE. — Les nouvelles locomotives des chemins de fer de l'Etat danois........	1	349	
—— (1897, fascicule I). — Locomotive à crémaillère, système Abt........	3	393	
—— (1897, fascicules I et II) BIRK (A.). — La construction des voies en vue du trafic des trains express........	4	258	
—— (1897, fascicules III, IV et V) EDMUND KELÉNYI. — Les locomotives à l'exposition du Millénaire à Budapest, en 1896........	4	259	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Organ für die fortschritte des Eisenbahnwesens. — (1897, fascicules IV, V et VI) SCHNEIDT. — L'injection des traverses en bois par le chlorure de zinc et la créosote.......	4	260	
—— (1897, fascicules VI et VII) SCHUBERT (E.). — Le sol, le ballast et le profil des traverses de chemins de fer..........................	4	261	
Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten Vereines. — (Nos 1 et 2, 1er et 8 *janvier* 1897) VON KLAMMSTEIN. — Le chemin de fer métropolitain de Vienne..........	2	405	
Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. — (1897, fascicule VI) L. NEUMANN. — La transformation de la ligne de chemin de fer à voie étroite de Klotzsche à Königsbrück en ligne à voie normale, en 1896-1897..................................	4	263	
Zeitschrift für Bauwesen. — (1897, fascicules IV à VI) SCHUBERT. — L'espacement des traverses et la nature du ballast dans les voies de chemins de fer..........................	3	393	
Anglais			
American Society of civil Engineers. — (*Décembre* 1896) J.-F. WALLACE. — La substitution de l'électricité à la vapeur comme puissance motrice dans les chemins de fer suburbains................................	1	375	
—— (*Janvier* 1897) A.-L. WADDEL. — Etude sur la construction des chemins de fer métropolitains sur viaducs..........................	1	375	
Engineering. — (4 *décembre* 1896). — Installation des signaux de « Liverpool street station »...................................	1	375	
—— (*Décembre* 1896, *février* 1897). — Chemin de fer souterrain et à traction funiculaire à Glasgow	1	375	
—— (5 *mars* 1897). — Chemin de fer souterrain et à traction funiculaire de Glascow....	2	420	
—— (19 *mars* 1897) Es. DU RICHE-PRELLER. — Transporteurs pour wagons à voie normale sur des lignes à voie étroite.................	2	420	
—— (30 *avril* 1897). — Chemins de fer du Cap.	2	420	
—— (30 *avril* 1897). — Chemin de fer de Darjeeling Himalaya..........................	2	421	
—— (7 *mai* 1897). — Chemin de fer Lanarkshire et Dumbarton	2	422	
—— (*Mai-juin* 1897). — Chemin de fer Lanakshire et Dumbarton (*suite et fin*)............	3	410	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
The Railway Engineer. — (*Avril* 1897). — Installation du service des signaux.......	2	423	
—— (*Avril* 1897). — Ecope du Pennsylvania Railroad pour faire de l'eau en marche......	2	423	
—— (*Juin* 1897). — Rail adopté pour les chemins de fer chinois........................	2	424	
—— (*Juin* 1897). — Rails adoptés par le « New-York Central and Hudson River Railroad »...	2	424	
—— (*Août* 1897). — Nouveaux wagons à charbon de la Chesapeake and Ohio Railway.	4	285	
—— (*Septembre* et *octobre* 1897). — Locomotives du type « Duke of Cornwall ».......	4	285	
—— (*Novembre* 1897). — Nouveau train avec voitures à vestibule du South Eastern Railway	4	286	
—— (*Novembre* 1897). — Locomotive « Dunalastan » pour trains express du Caledonian Railway....................................	4	286	
—— (*Décembre* 1897). — Chemins de fer de l'Etat de Victoria..........................	4	286	
Scientific American. — (15 *mai* 1897). — Locomotives à 12 roues pour le Brésil........	4	286	
Street Railway Journal. — (*Décembre* 1896). — Chemin de fer électrique, Englewood (Chicago)....................................	1	375	
—— (*Janvier* 1897) L.-D. Taudy. — Stations centrales d'électricité et résultats économiques de leur exploitation....................	1	376	
—— (*Janvier* 1897) E.-A. Ziffer. — Traction mécanique en Europe......................	1	376	
—— (*Février* 1897). — Circulation sur le pont de Brooklyn..............................	1	376	
—— (*Mars* 1897). — La nouvelle station centrale du chemin de fer de Chicago-City.......	2	425	
—— (*Avril-mai* 1897). — Résultats financiers de l'exploitation des tramways funiculaires et électriques aux Etats-Unis...............	2	425	
—— (*Juin* 1897) N.-H. Heft. — Traction électrique sur les lignes de la New-York, New-Haven et Hartford C°.......................	3	411	
—— (*Juin* 1897). — Prix de revient de la force motrice utilisée par les tramways électriques dans les Etats de New-York et de Massachussets....................................	3	412	
—— (*Octobre* 1897) Emery. — Machinerie des stations centrales d'électricité desservant un réseau de tramways..........................	4	287	
—— (*Octobre* 1897). — Développement du réseau de tramways aux Etats-Unis...........	4	287	

INDICATION DES ARTICLES	NUMEROS DES trimestres	pages	planches
Belges			
Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer. — (*Octobre* 1897) LOUFTI-YOUSSEF AYROUT. — Etude comparée du service de contrôle dans les chemins de fer anglais, français, italiens, suisses et égyptiens...............................	4	304	
Hollandais			
Ingénieur. — (Livraisons du 10 et du 17 *avril* 1897) M. F.-J. VAES. — Etude sur la force des locomotives et la résistance des trains.......	2	441	
Italiens			
Giornale del Genio civile. — (*Janvier-février* 1897) G. MARCHI. — Le chemin de fer de Lucques à Viareggio dans la traversée du marais de Massaciuccoli....................	3	437	
Russes			
Izvestia Sobrania Ingenerov Pouteï Soobchtchenia. — (*Juin* 1897) J. STEZEVITCH. — Sur l'affaissement des voies de chemins de fer sous le ballast et les moyens de le combattre	4	309	
VII. — GÉNIE RURAL			
ASSAINISSEMENT. — DISTRIBUTION D'EAU			
MÉMOIRES, NOTES, ÉTUDES, ETC.			
Bechmann et **Launay.** — Notice sur les travaux de l'aqueduc et du parc agricole d'Achères..................................	2	6	9 à 18
CHRONIQUES ET BIBLIOGRAPHIES			
Bret. — Note sur l'appareil de fermeture automatique du réservoir de Vernon...........	2	364	22
Gariel. — Les eaux potables et leur rôle hygiénique dans le département de Meurthe-et-Moselle, par le Dr E. Imbeaux (*Bibl.*)........	4	216	
Launay. — Distributions d'eau, égouts, par A. Debauve (*Bibl.*).........................	4	219	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
COMPTES RENDUS DES PÉRIODIQUES			
Français			
Bulletin de la Société d'Encouragement. — (*Novembre* et *décembre* 1896) Ronna. — De l'assainissement des villes et des cours d'eau aux Etats-Unis	1	335	
—— (*Août* 1897) Ronna. — Les eaux de Rome..	3	369	
—— (*Octobre* 1897) Ronna.— Les égouts de Rome.	4	236	
Bulletin de la Société des Ingénieurs civils. — (*Juin* 1897) Baudot. — Les réservoirs du Nil	3	369	
—— (*Juillet* 1897) P. Chalon. — Sur la recherche des eaux souterraines	3	369	
—— (*Août* 1897) L. Chateau. — Les gisements de phosphate de chaux dans les provinces de Constantine et d'Alger	3	369	
Le Génie civil. — (2 *janvier* 1897) G. Rexel. — Evacuation et traitement des eaux d'égout et des ordures ménagères. — Système appliqué à Longhborough (Angleterre) (d'après un article de M. Butterworth paru, en 1896, dans *Institution of civil Engineers*)	1	336	
—— (10 *avril* 1897). — Purification des eaux ferrugineuses	2	394	
—— (5 *juin* 1897). — Traitement des ordures ménagères à Philadelphie et à New-York. — Application aux gadoues de la ville de Paris.	3	370	
—— (9 *octobre* 1897). — De l'application du « Tout à l'égout »	4	236	
Nouvelles Annales de la Construction. — (*Mai* 1897) J. Hervieu. — Appareils pour la pose en galerie de conduites de grand diamètre	2	394	
—— (*Juillet* 1897). — Note sur divers moyens d'augmenter le débit des bouches d'égout	3	371	
Revue technique. — (25 *juillet* 1897). — Le système aspirateur Liernur et l'assainissement de Trouville-sur-Mer	3	371	
Allemands			
Allgemeine Bauzeitung. — (1897, fascicule 11) Ch. Kress. — Le barrage de la vallée de Marienbad	3	394	
Oesterreichische Monaschrift für den öffentlichen Baudienst. — (*Février* 1897). — Le service hydrographique en Autriche. pendant l'année 1896	3	396	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	NUMÉROS DES pages	NUMÉROS DES planches
Anglais			
Engineering. — (*Janvier-février* 1897). — Canal de drainage de Chicago	1	378	
—— (*Février-avril* 1897). — Canal de drainage de Chicago (*suite*)	2	426	
—— (18 *juin* 1897). — Labourage électrique	3	413	
Engineering News. — (25 *février* 1897). — Alimentation de la ville de Boston. — Aqueducs de Nashua	2	426	
—— (29 *avril* 1897). — Nombre et exploitation des distributions d'eau aux Etats-Unis et au Canada	3	413	
—— (13 *mai* 1897). — Nouveau barrage en maçonnerie de New-Holyoke	3	413	
Engineering Record. — (20 *mars* 1897). — Prix comparatifs du pompage, par l'emploi de la vapeur ou de l'électricité à la Nouvelle-Orléans	2	426	
—— (22 *mai* 1897). — Nouveau tunnel de prise d'eau pour la ville de Cleveland	3	414	
Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. — (Année 1896, vol. IV) Deacon. — Alimentation d'eau de Liverpool	1	378	
—— (1896, vol. IV) M G.-H. Hir. — Travaux du lac Thirlmere pour l'alimentation de Manchester	1	380	
—— Percy Franklan. — Purification bactériologique de l'eau	2	427	
—— E. Holgate. — Enrichissement du gaz de houille	2	427	
—— (1897, vol. III) Worth et Crimp. — Egouts collecteurs de Londres	4	288	
—— (1897, vol. III) Dibdin. — Purification de la Tamise	4	289	
Espagnols			
Revistade Obras publicas (27 *mai* 1897). — Les réservoirs de Hijar	3	433	
—— (3 *juin* 1897). — Le réservoir de Puentes (Murcie)	3	433	
Hollandais			
Bulletin de l'Institut royal des Ingénieurs. — (Année 1896-97, livraison 4). — Tuyaux posés dans l'Y pour la distribution d'eau potable de la ville d'Amsterdam	4	307	
Ingénieur. — (Livraison du 1er *mars*) M. J. de Koning. — La question des matières fécales et l'agriculture	2	441	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
VIII. — MACHINES			
CHRONIQUES ET BIBLIOGRAPHIES			
Walckenaer. — Accidents causés par des ruptures de tubes à fumée..................	3	312	28
Walckenaer. — Remarques et expériences à l'occasion d'un manque d'eau dans un générateur de vapeur........................	4	191	33
COMPTES RENDUS DES PÉRIODIQUES			
Français			
Bulletin de la Société d'Encouragement. —(*Novembre* 1896) HIRSCH. — Rapport sur les turbines Hercule-Progrès de MM. Singrün frères..................................	1	336	
—— (*Janvier* 1897) M. LONDRIGE. — Les avaries des machines à vapeur, d'après l'*Engineering* (1, 8 et 15 *janvier* 1897).....................	1	336	
Le Génie civil. — (13 *mars* 1897) A. BUTIN. — Emploi des turbines à axe horizontal pour la commande des dynamos.................	2	394	
—— (10 *avril* 1897). — Transporteurs pneumatiques pour la manutention des grains....	2	395	
—— (15 *mai* 1897) M. SPOO. — Embrayage de sûreté à déclenchement automatique.........	2	395	
—— (3 et 17 *juillet* 1897) V. KAMMERER. — Utilisation des forces motrices du Rhin à Rheinfelden (Suisse)................................	3	371	
Revue de Mécanique. — (*Janvier* 1897) E. SAUVAGE. — Les locomotives compound (*à suivre*).	1	337	
—— (*Février* 1897) CROISIER. — Note sur les tiroirs équilibrés et leur application à quelques locomotives de la Compagnie de l'Est. MASSE. — Les pompes. — Les béliers (*à suivre*. G. RICHARD. — Les appareils de levage. Crics et verrins (*à suivre*). WALCKENAER. — Les chaudières (*à suivre*).	1	337	
Revue industrielle. — (30 *janvier* 1897) G. LAVERGNE. — Pompe centrifuge Schabaver à gros rendements pour les élévations d'eau aux grandes hauteurs......................	1	336	
—— (6 *mars* 1897) P. CHEVILLARD. — Boîte d'essieu à coussinet de roulement...........	2	395	
—— (30 *octobre* 1897) P. CHEVILLARD. — Mécanisme d'enclenchement à grande vitesse pour distributeur Corliss (système David).........	4	236	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Revue technique. — (25 *janvier* 1897) M. DIBOS. — Incrustants et désincrustants	1	337	
—— (25 *mars* 1897). — Nouvelle connexion pour tige de piston de machine monocylindrique...	2	395	
—— (25 avril 1897). — Propulsion des navires au moyen des turbines à vapeur.......	2	395	
—— (10 *juillet* 1897). — Les machines en série, système Wellington..................	3	372	
Anglais			
Minutes of Proceedings of the Institution of civil Engineers. — (1897, t. II) W. RIPPER. — Expériences sur les machines à vapeur surchauffée..............................	3	414	
Hollandais			
Bulletin de l'Association des Ingénieurs mécaniciens et des Architectes navals. — (Année 1896-97, séance du 16 *septembre* 1897) DYXHOORN. — Machines pour la distribution de l'eau potable à Rotterdam...............	4	307	
Ingénieur. — (Livraison du 10 *octobre* 1896). — Elévateur pour le transport des charbons.	2	442	
Russes			
Izvestia Sobrania Ingenerov Poutei Soobchtchenia. — (*Avril* 1897) V. PASTAKOFF. — Ascenseurs à flotteurs pour bateaux, avec une courte notice historique sur les élévateurs...	4	310	
IX. — ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE			
CHRONIQUES ET BIBLIOGRAPHIES			
Chateau. — Note sur l'éclairage électrique d'une partie des quais du port de Rouen.....	3	348	
COMPTES RENDUS DES PÉRIODIQUES			
Français			
Bulletin de la Société internationale des Electriciens. — (2 *décembre* 1896) E. HILLAIRET. — La traction mécanique dans Paris....	1	337	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Bulletin de la Société internationale des Electriciens. — (6 *janvier* 1897). — Suite de la discussion sur la question de la traction électrique à Paris, par MM. Maréchal, Lauriol, Vuilleumier, Mekarski, Védovelli et Regnard.	1	337	
—— (20 *janvier* 1897) L.-B. Marks. — L'arc électrique en vase clos....................	1	337	
—— (*Juin* 1897) G. Claude. — Observations sur le fonctionnement des lampes à arc à courant alternatif..............................	3	372	
—— (*Juin* 1897) R. Arnoux. — Nouveaux voltmètre et ampèremètre enregistreurs à sensibilité variable..............................	3	373	
—— (*Juin* 1897) E. Hospitalier. — Automobiles électriques............................	3	373	
—— (*Juillet* 1897) F. Laporte. — Etude expérimentale des coupe-circuits et des fils fusibles..	3	373	
—— (*Juillet* 1897) Abraham. — Sur le rhéographe à induction Abraham-Carpentier et les différentes méthodes d'enregistrement des courbes de courants alternatifs.............	3	373	
—— (*Août-octobre* 1897). — Règlements relatifs à la sécurité des installations électriques en usage dans les pays étrangers....	4	237	
L'Eclairage électrique (2 *janvier* 1897). — Tramways électriques Cirla. — Résumé de l'article mentionné plus loin dans *The Electrician*....................................	1	338	
—— (9 *janvier* 1897) G. Pellissier. — Les progrès de l'électricité en 1896.................	1	338	
—— (9 *janvier* 1897) F. Guilbert. — Le nouveau matériel générateur de la Société d'Eclairage et de Force............................	1	338	
—— (16 *janvier* 1897) Hess. — Les progrès de l'électricité appliquée en 1896...............	1	338	
—— (16 *janvier* 1897) Jackson. — La corrosion électrolytique par le courant de retour des tramways..................................	1	339	
—— (16 *janvier* 1897) Moutier. — Station centrale de Budapest..........................	1	338	
—— (6 *février* 1897) G. Pellissier. — Eclairage électrique de l'Avenue de l'Opéra...........	1	339	
—— (13 *février*, 13 et 20 *mars* 1897) A. Blondel. — Rendement lumineux de l'arc électrique...	1	339	
—— (13 *février* 1897) Moutier. — Les tramways de Budapest et le chemin de fer électrique souterrain..................................	1	339	
—— (27 *février*, 6 et 13 *mars* 1897) A. Bochet. — Les installations électriques.............	1	340	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
L'Eclairage électrique. — (26 *juin* 1897) G. RICHARD. — Les lampes à arc	3	373	
—— (26 *juin* 1897). — La station centrale hydraulique à courants alternatifs triphasés de Minneapolis	3	373	
—— (10 *juillet* 1897). — Soudure des rails de tramways, système Falk	3	374	
—— (10 *juillet* 1897) Ch. HEWITT. — Application des accumulateurs aux lignes de tramways de grande longueur	3	374	
—— (10 *juillet* 1897). — Emploi de l'acétylène dans les moteurs à gaz	3	374	
—— (17 *juillet* 1897) F. GUILBERT. — Machines dynamo-électriques	3	374	
—— (17 *juillet* 1897). — L'électricité à l'Exposition de Bruxelles	3	374	
—— (17 *juillet* 1897) PARRISH. — Signal pour tramways électriques	3	374	
—— (24 *juillet* et 7 *août* 1897) F. ROSSEL. — Télégraphie sous-marine	3	374	
—— (24 *juillet* 1897) J. BLONDIN. — Recherches récentes sur l'ozone	3	374	
—— (24 *juillet* 1897) BIJUR. — Régularisation des transformateurs	3	374	
—— (24 *juillet* 1897) HOWELL. — Sur l'emploi des lampes à incandescence à 110 et 220 volts.	3	374	
—— (24 *juillet* 1897). — La station centrale à vapeur, à courants alternatifs de l'Allgemeine Elecktricitäts Gesellschaft	3	375	
—— (31 *juillet* 1897) G. PELLISSIER. — Chemins de fer et tramways électriques	3	375	
—— (31 *juillet*, 28 *août* et 18 *septembre* 1897) J. JACQUIN. — L'éclairage électrique des véhicules des chemins de fer du Jura-Simplon	3	375	
—— (31 *juillet* 1897) RENARD. — Les applications de l'électricité comme force motrice à l'agriculture	3	375	
—— (31 *juillet* 1897) MARTIN. — Utilisation diurne des stations centrales d'éclairage électrique. — L. BELL. — Rapport de l'Association américaine d'éclairage électrique sur l'étalonnage des lampes à incandescence	3	375	
—— (31 *juillet* 1897). — Chauffage des chaudières par l'incinération des ordures à Shoreditch	3	375	
—— (31 *juillet* 1897). — Enrichissement du gaz d'huile par l'acétylène pour l'éclairage des wagons	3	375	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
L'Eclairage électrique. — (4 *décembre* 1897) M. Travailleur. — Les tramways bruxellois à traction électrique souterraine.............	4	240	
—— (11 *décembre* 1897). — Statistique des tramways en Amérique......................	4	240	
—— (11 *décembre* 1897) Steinmetz. — Moteurs asynchrones..............................	4	240	
L'Industrie électrique. — (10 *décembre* 1896) Boistel. — Variations de la lampe Hefner, etc.	1	341	
—— (10 *décembre* 1896) F. Miron — Frein électro-pneumatique système Chapsal........	1	341	
—— (10 *décembre* 1896) A. Z. — Eclairage électrique de l'avenue de l'Opéra................	1	340	
—— (25 *décembre* 1896) Boistel. — Alternateur de la Compagnie Westinghouse.........	1	341	
—— (10 *janvier* 1897) Boistel. — Matériel à courant alternatif de la Compagnie Westinghouse..................................	1	341	
—— (10 *janvier* 1897) F. Guilbert. — Les alternateurs diphasés de la Société d'Eclairage et de Force..................................	1	341	
—— (25 *janvier* 1897). — Remorquage funiculaire système Mollard et Dulac............	1	341	
—— (25 *janvier* 1897) J. Laffargue. — Les pompes électriques........................	1	342	
—— (10 *février* 1897). — Transformation directe de l'énergie thermique en énergie électrique..	1	342	
—— (10 *mars* 1897). — Statistique des chemins de fer et tramways électriques en Europe au 1er janvier 1897..................	1	342	
—— (10 *avril* 1897) Boistel. — La machine à vapeur universelle Raworth.................	2	399	
—— (10 *avril* 1897) Feer. — Traction par accumulateurs..................................	2	399	
—— (25 *avril* 1897) Soulier. — Tramways à accumulateurs de Paris-Madeleine à Courbevoie...	2	400	
—— (10 *mai* 1897) Hospitalier. — Automobiles électriques..................................	2	400	
—— (10 *mai* 1897) O' Keenan. — Vérification des compteurs Thomson......................	2	400	
—— (10 *mai* 1897) Laffargue. — Les tramways électriques de Hanovre.....................	2	400	
—— (10 *mai* 1897) Picou. — Chute de tension dans les câbles à courant alternatif..........	2	400	
—— (25 *mai* 1897) Girault. — Distribution à trois fils par bobines égalisatrices...........	2	400	
—— (25 *mai* 1897) J. Lefèvre. — Le chemin de fer de la Jungfrau..........................	2	401	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
L'Industrie électrique. — (25 *novembre* et 10 *décembre* 1897) E. Hospitalier. — Nouvelle locomotive électrique de M. J.-J. Heilmann...	4	242	
—— (10 *décembre* 1897). — Transmission d'énergie électrique entre Mechanicsville et Schenectady	4	242	
Revue générale des Sciences. — (30 *décembre* 1896) E. H. — Nouvelles locomotives Heilmann	1	342	
Société internationale des Electriciens. — (7 *avril* 1897) Pellat. — Sur la décimalisation de l'heure	2	401	
—— (7 *avril* 1897) d'Arsonval. — Sur l'action physiologique et thérapeutique des courants à haute fréquence	2	401	
—— (5 *mai* 1897) J.-F. Lasnier. — Tramways électriques de la Madeleine à Courbevoie, Neuilly et Levallois	2	401	
—— (5 *mai* 1897) Hospitalier. — Automobiles électriques	2	401	
—— (2 *juin* 1897) Claude. — Fonctionnement des lampes à arc à courants alternatifs......	2	401	
—— (2 *juin* 1897) Arnoux. — Voltmètres et ampèremètres enregistreurs. Pérot. — Voltmètre électrostatique d'étalonnage	2	402	
Allemands			
Elektrotechnischer Anzeiger. — (21 *février* 1897). — Transport d'énergie par courant continu à 1.200 volts	2	406	
—— (29 *août* 1897). — Comparaison entre le gaz et l'électricité pour l'éclairage des trains	3	396	
Elektrotechnisches Verein. — (15 *décembre* 1896) Shröder. — Emploi des accumulateurs dans les stations centrales de tramways	1	331	
—— (23 *février* 1897) M. Kallmann. — Les tarifs de l'énergie électrique dans les stations centrales et la concurrence des stations particulières	2	407	
—— (8 *avril* 1897) Goerges. — Nouveau parafoudre pour haute tension	2	407	
—— (27 *avril* 1897) et **Elektrotechnische Zeitschrift.** — (27 *mai* 1897). — Adoption d'unités photométriques	2	408	
Elektrotechnische Zeitschrift. — (3 *décembre* 1896). — Installation combinée pour			

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
l'éclairage et la distribution de force de la gare de Gleiwitz	1	351	
Elektrotechnische Zeitschrift. — (10 *décembre* 1896). — Statistique des résultats d'exploitation de la station de distribution d'électricité de Düsseldorf	1	352	
—— (24 *décembre* 1896). — Appareils avertisseurs d'incendie, exposés à l'exposition de Berlin par M. Mix Genest	1	352	
—— (24 *décembre* 1896) Gusinde. — La question des lampes à incandescence	1	352	
—— (7 *janvier* 1897). — Statistique des stations de tramways électriques en Allemagne.	1	353	
—— (7 *janvier* 1897) P. Uppenborn. — Les installations électriques de la ville de Munich...	1	353	
—— (14 *janvier* 1897) Hundhausen. — Nouveau système d'installations intérieures et de dispositifs de sûreté de la maison Siemens et Halske	1	356	
—— (21 *janvier* 1897) R. Arno. — Système de distribution électrique par courant monophasé.	1	356	
—— (21 *janvier* 1897) F. Uppenborn. — Nouvelle voiture de vérification des câbles de canalisation électrique de la ville de Munich...	1	357	
—— (4 *février* 1897). — Commande électrique de gouvernail	1	357	
—— (11 *février* 1897). — Chemin de fer électrique marin de Brighton	1	357	
—— (4 *mars* 1897) Carl Kriz. — L'éclairage électrique des wagons de poste sur les chemins de fer en Autriche	1	358	
—— (4 *mars* 1897) Guinand. — La station électrique de Rothausen près Lucerne	1	358	
—— (25 *mars* 1897) Höfer. — Liaisons électriques avec les rails pour le retour par la terre dans les transmissions télégraphiques des chemins de fer	2	408	
—— (1er *avril* 1897) Ross. — Système mixte de traction électrique de Hanovre	2	408	
—— (8 *avril* 1897) Stark et Schwartz. — Sur le meilleur écartement à donner aux poteaux d'une ligne aérienne de grande longueur	2	410	
—— (8 *avril* 1897) R. Petsch. — Desséchement des câbles à isolement d'air	2	410	
—— (22 *avril* 1897) Rothert. — Machine unique pour distribution à trois fils	2	411	
—— (6 *mai* 1897). — Statistique de l'éclairage électrique à Berlin	2	411	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Elektrotechnische Zeitschrift. — (13 *mai* 1897) Klasson. — Description de quelques essais intéressants faits sur l'installation électrique à courant triphasé dans la poudrerie d'Ochta, près de Saint-Pétersbourg..........	2	411	
—— (20 *mai* 1897) Peukert. — Relation entre la capacité et le régime de décharge des accumulateurs au plomb.......................	2	411	
—— (22 *juillet* 1897) Graetz. — Redressement des courants alternatifs....................	3	397	
—— (22 *juillet* 1897) Rentsch. — Suspension des lampes à arc..........................	3	397	
—— (29 *juillet* 1897). — Réglementation de l'Association des Ingénieurs allemands pour les installations électriques à haute tension.	3	397	
—— (5 *août* 1897). — Les tramways électriques de Leipzig...........................	3	397	
—— (5 *août* 1897) Findeisen. — Installation des paratonnerres................................	3	397	
—— (12 et 19 *août* 1897) Andreas. — Formation des aimants permanents en acier...........	3	398	
—— (*Août* 1897). — Comptes rendus détaillés du Congrès annuel des Electriciens allemands, tenu cette année à Eisenach.................	3	398	
—— (12 *août* 1897) Arldt. — Système de signal à champ tournant..........................	3	398	
—— (9 *septembre* 1897) Trotter. — Sur les troubles dans les câbles sous-marins occasionnés par le voisinage d'une ligne de tramways électriques..........................	4	264	
—— (16 *septembre* 1897) Max Jehnke. — Appareils pour la vérification de l'étanchéité des gaines isolantes des câbles................	4	266	
—— (30 *septembre* 1897) Leo Silberstein. — Installation des machines d'épuisement électriques dans le delta du Memel..............	4	266	
Zeitschrift für Elektrotechnik. — Les tramways de Vienne..........................	1	359	
Anglais			
The Electrical Engineer. — (4 *décembre* 1896). — Eclairage électrique des trains......	1	382	
—— (30 *décembre* 1896). — Système de tramways à deux voies avec un seul fil de trolley.	1	383	
Electrical World. — (5 *décembre* 1896) Frank Perkins. — La transmission de puissance du Niagara et ses récents développements....................................	1	383	

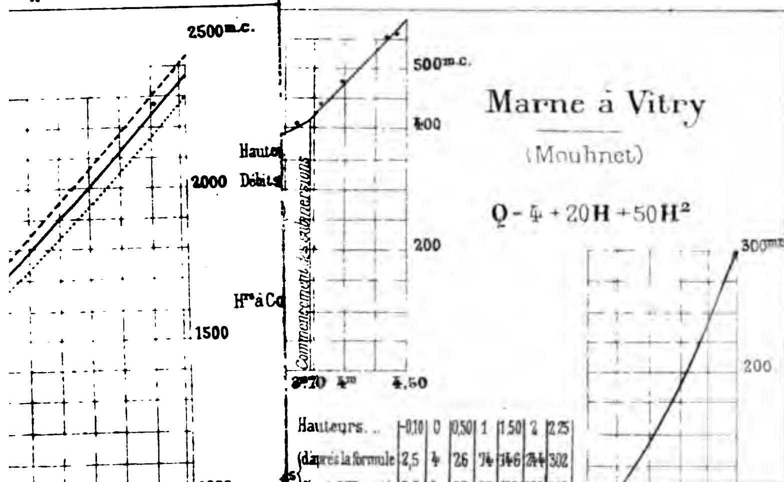
INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Electrical World. — (5 *juin* 1897) E.-A. Hitchcock. — Expériences sur des roues hydrauliques destinées à actionner des dynamos	3	415	
—— (5 *juin* 1897) L.-B. Marks. — Progrès dans les lampes à arc en vase clos	3	415	
—— (5 *juin* 1897) C.-H. Wilmerding. — Charge de jour économique dans les grandes stations centrales	3	415	
—— (12 *juin* 1897). — Compte rendu de la vingtième réunion de la « National Electric Light Association »	3	416	
—— (5, 12 et 19 *juin* 1897) W. Maver. — Construction des canalisations souterraines pour l'éclairage électrique	3	416	
—— (26 *juin* 1897). — Application de l'électricité aux chemins de fer	3	416	
—— (3 *juillet* 1897) H. Lomas et Herbert. — Eclairage électrique de Bolton (Angleterre)	3	416	
—— (3 *juillet* 1897) Woodbridge. — Pont tournant électrique	3	417	
—— (10 *juillet* 1897). — Installation d'éclairage et de force motrice du Life Building à New-York	3	417	
—— (10 *juillet* 1897) Perkins. — Installation à trois fils et à 440 volts de la Compagnie d'Eclairage électrique de Canton	3	417	
—— (17 *juillet* 1897). — Installation privée d'éclairage du Bowling Green Building	3	418	
—— (24 *juillet* 1897) Phillips et Swain. — Essais d'éclairage électrique et de transport dans les mines de charbon	3	418	
—— (24 *juillet* 1897) E. Thomson. — Emploi de l'air liquide dans les installations électriques	3	418	
—— (24 *juillet* 1897). — Nouveau système de distribution électrique	3	418	
—— (31 *juillet* 1897). — Quatorzième assemblée générale de l'Association américaine des Ingénieurs électriciens	3	419	
—— (31 *juillet* 1897) Baxter. — Voitures automobiles et locomotives électriques	3	419	
—— (7 *août* 1897). — Système à unités multiples Sprague employé au chemin de fer élevé de Chicago	3	419	
—— (7 *août* 1897) H. Short. — L'électricité comme source de puissance dans les chemins de fer élevés	3	419	

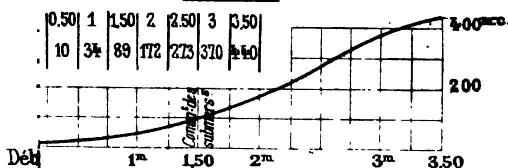
INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	NUMÉROS DES pages	NUMÉROS DES planches
The Electrician. — (4 *décembre* 1896). — Tramway électrique de Douglas Sud........	1	387	
—— (4 *décembre* 1896) STEVENSON. — Prix de revient comparés du gaz et de l'électricité à Manchester..............................	1	387	
—— et **the Electrical Engineer.** — (5 *décembre* 1896). — Description, illustrée, d'une nouvelle dynamo Siemens de 500 kilowatts, récemment installée dans la station de Bradford..................................	1	388	
—— (11 *décembre* 1896) O.-E. DUNLAP. — La nouvelle usine de la Compagnie « Niagara Falls hydraulic Power and Manufacturing Company »................................	1	388	
—— (25 *décembre* 1896) O.-E. DUNLAP. — Transmission électrique de Niagara à Buffalo......	1	388	
—— (25 *décembre* 1896). — Distribution par contact superficiel, système Cirla............	1	388	
—— (25 *décembre* 1896). — L'électricité et l'air comprimé ; résultats comparatifs obtenus dans une mine du Colorado.................	1	388	
—— (8 *janvier* 1897) J.-C. KERSHAW. — Applications de l'électricité à la métallurgie. Raffineries électrolytiques de cuivre	1	389	
—— (8 *janvier* 1897). — Perfectionnements dans les transformateurs à courant continu.......	1	389	
—— (22 *janvier* 1897). — Statistique de la traction électrique en Angleterre...............	1	389	
—— (22 *janvier* 1897). — Eclairage électrique de Malte	1	390	
—— (29 *janvier* 1897) J. C. KERSHAW. — Applications de l'électricité à la métallurgie (suite).	1	390	
—— (12 *février* 1897) J.-C. KERSHAW. — Applications de l'électricité à la production des alcalis et du chlore........................	1	391	
—— (26 *février* 1897) A.-T. SNELL. — Perforatrice de la Société de charbonnages des Bouches-du-Rhône.........................	1	392	
—— (12, 19 et 26 *février* 1897) et **Proceedings of the Institution of Electrical Engineers.** — (28 *janvier* 1897) P.-T. HOLLINS. — Enclenchements électriques de signaux sur les chemins de fer................................	1	392	
—— (5 *mars* 1897) J.-C. KERSHAW. — Application de l'électricité à la métallurgie (*suite*)...	1	393	
—— (5 *mars* 1897). — La question des lampes à incandescence à haut voltage en 1897...	1	393	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
The Electrician. — (2 *juillet* 1897). — Le système de traction électrique à conduite souterraine de M. Lachmann..................	3	423	
—— (2 *juillet* 1897). — Sur la transmission de l'énergie..................................	3	423	
—— (2 *juillet* 1897). — La station centrale de Wynau	3	423	
—— (9 *juillet* 1897). — Station centrale municipale de Shoreditch.....................	3	424	
—— (16 *juillet* 1897). — Rapport sur les dangers de la production de l'éclairage électrique.	3	424	
—— (16 *juillet* 1897) H.-L.-P. Boot. — Eclairage public..................................	3	425	
—— (16 *juillet* 1897) C.-D. Taite. — Eclairage public au moyen de redresseurs de courant..	3	425	
—— (16 *juillet* 1897) S.-F. Fedden. — Eclairage public par l'électricité......................	3	425	
—— (28 *juillet* 1897). — Câble sous-marin à circulation d'air............................	3	425	
—— (30 *juillet* 1897) L. Schröder. — Tramways électriques avec accumulateurs stationnaires.	3	426	
—— (13 *août* 1897). — Le nouveau règlement de l'Association des Ingénieurs électriciens anglais sur les installations électriques......	3	426	
—— (13 *août* 1897) J.-R. Blaikie. — Systèmes de distribution J.-A. Jeckell.................	3	426	
—— (20 *août* 1897). — Cabs électriques..... ..	3	426	
—— (20 *août* 1897) Lutoslawski. — Systèmes d'éclairage électrique en Russie	3	427	
—— (3 *septembre* 1897). — Les grues électriques du steamer *Brême*..................	3	427	
—— (10 *septembre* 1897) C Cunningham. — Système de traction électrique de Montréal.....	3	427	
—— (24 *septembre* 1897) Th. Hesketh. — Note sur l'arc électrique........................	4	289	
—— (8 *octobre* 1897). — Station centrale municipale de Hammersmith...	4	290	
—— (8 *octobre* 1897). — Règlement pour les canalisations d'éclairage électrique...........	4	291	
—— (12 *novembre* 1897). — L'automobile électrique d'Elicson..........................	4	291	
—— (12 *novembre* 1897). — Les lampes en vase clos Davy..................................	4	291	
—— (19 et 26 *novembre* 1897) Ravenshaw. — Treuils et grues électriques.................	4	291	
Western Electrician. — (6 *mars* 1897) Bain. — Arcs sifflants..............................	2	436	

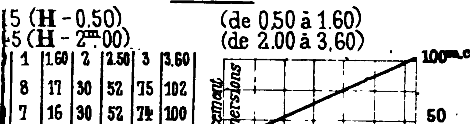
INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Hollandais			
Electra. — (Année 1897, livraisons de *janvier*. *février*, *mars*, *avril*, *mai*, etc.) M. L.-G. Walter. — Le réseau des téléphones à Amsterdam...	2	443	
—— (Année 1897, livraisons de *juillet* et d'*août*). — Influence des tramways électriques sur les conduites de gaz et d'eau et sur la téléphonie.....	4	308	
Ingénieur. — (Livraisons des 20 *novembre*, 5 *décembre*, 19 *décembre* 1896; 2 *janvier*, 9 *janvier* et 16 *janvier* 1897) M.-H. A. van Ysselsteyn. — L'installation des téléphones à Rotterdam.....	2	442	
Russes			
Elektritchestvo. — (*Octobre* 1897) R. Klasson. Transmission électrique d'énergie par courants triphasés dans les poudreries d'Okhta près de Saint-Pétersbourg.....	4	311	
X. — ARCHITECTURE			
COMPTES RENDUS DES PÉRIODIQUES			
Français			
Bulletin de la Société des Ingénieurs civils. — (*Mars* 1897). — Les constructions élevées aux Etats-Unis.....	2	402	
Le Génie civil. — (28 *août* 1897) G. Renel. — Château d'eau de Norton pour l'adduction des eaux de Vyrnwy à Liverpool.....	3	380	
Nouvelles Annales de la Construction. — (*Octobre* 1897) H. Lavollay. — Les constructions à ossature d'acier à Chicago	4	242	
Revue technique. — (10 et 25 *octobre* 1897) G. Mercier. — Les pavillons Docker.....	4	243	
Allemands			
Allgemeine Bauzeitung. — (1897, 1er fascicule). — La colonnade de Marienbad construite par les architectes Miksch et Niedzielski, de Vienne.....	2	412	

INDICATION DES ARTICLES	NUMÉROS DES trimestres	pages	planches
Allgemeine Bauzeitung. — (1897, 1er fascicule) W. SCHULTZ. — Le temple de Diane à Eleusis....................................	2	412	
—— (1897, fascicule II) G.-A. HORST. — La nouvelle église protestante de Munich(Saint-Lucas)	3	399	
—— (1897, fascicule II) L. TRZESCHTIK. — La formation de l'art de la construction en Autriche et notamment du style gothique.......	3	399	
—— (1897, fascicule III) E. RITTER VON FÖRSTER. — La restauration des salles de réception du Ministère de l'Intérieur.....................	4	269	
—— W. SCHULZ. — Quelques monuments d'architecture du territoire du Harz..............	4	269	
Osterreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst. — (*Février* 1897) F. MELDAHL. — La construction des églises protestantes..................................	3	399	
Zeitschrift für Architektur und Ingenieur-wesen. — (1897, fascicule III) K. HENRICI. — Le nouvel hôtel de ville de Leer.....	3	399	
—— (1897, fascicule III) Ross. — Les constructions des villes en Italie.....................	3	399	
—— (1897, fascicule VI) WALDOW. — Le nouveau jardin botanique de Dresde...........	4	269	
Zeitschrift für Bauwesen. —(1897, fascicules I à III) : 1° La nouvelle clinique de psychiâtrie et des maladies nerveuses, à l'Université de Halle ; 2° P. LEHMGRUEBNER. — La façade de l'hôtel de ville à Wesel ; 3° RUDOLF SCHULTZE. — Le nouvel abattoir et la gare aux bestiaux à Cologne ; 4° E. MICHEL. — L'église Saint-Jean en Alsace (église romane du XIIe siècle, située à une heure environ au nord-est de Zabern) ; 5° JANSEN. — Les nouveaux bâtiments pour la culture des plantes au jardin de Frédéric-Guillaume, à Magdebourg ; 6° HANS LUTSCH. — Nouvelles publications sur les maisons des paysans en Allemagne, en Autriche-Hongrie et en Suisse............	2	412	
—— (1897, fascicules IV à VI). — Le nouvel hôtel de ville de Halle......................	3	400	
—— (1897, fascicules IV à VI) F. ADLER. — La cathédrale de Schleswig.....................	3	400	
—— (1897, fascicules VII à IX et X à XII) LEIDICH. — L'église et le cloître de l'ancien couvent des Cisterciens à Pforta	4	270	

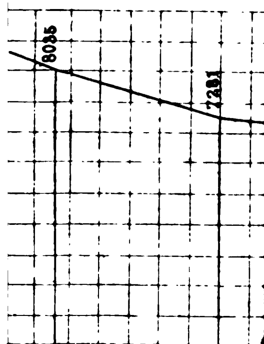

2500m.c.
2000
1500
Haute
Débits
Hrs à Co
500m.c.
400
200
Commencement des submersions
3m70 4m 4,50
Marne à Vitry
(Mouhnet)
Q = 4 + 20H + 50H²
300m.c.
200
Hauteurs... -0,10 0 0,50 1 1,50 2 2,25
d'après la formule 2,5 4 26 74 146 244 302

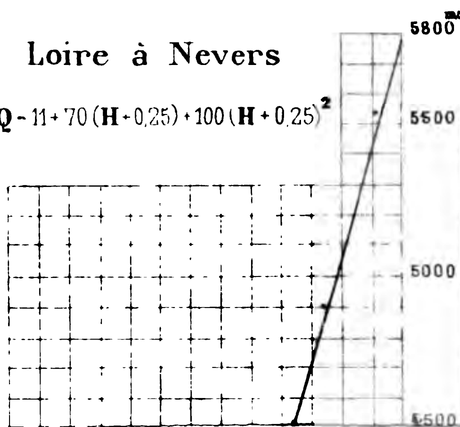


Meuse à St Thiébault



Débits maxima d





JA

1897. Pl. 26

JGEAGES EF

1897. PL 27.

St-Esprit

2000m.c

Rhône à Lyon

(en amont du Confluent de la Saône)

$Q = 150 + 150(H+0.50) + 80(H+0.50)^2$ (de 0m60 à 2m)

Fig. 6. Face K

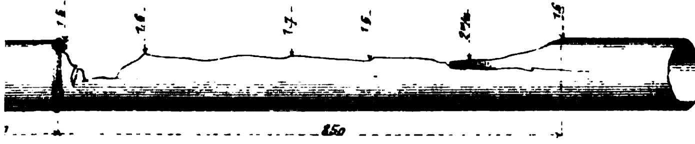


Fig. 7. Dessus du tube brisé

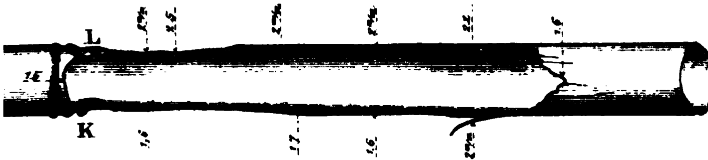


Fig. 8. Face L

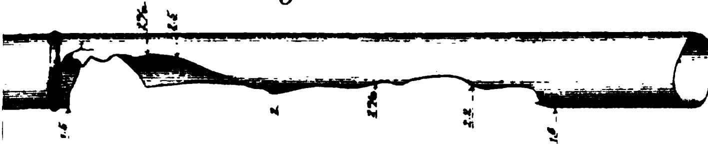


Fig. 9. Accident du 22 octobre 1895 á Elbeuf.
Vue en dessus du tube brisé.

Fragment M
Côte a
Côté a'

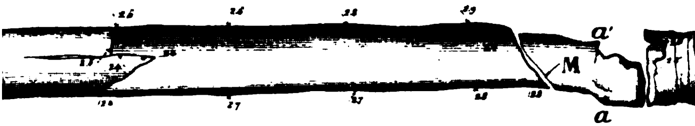
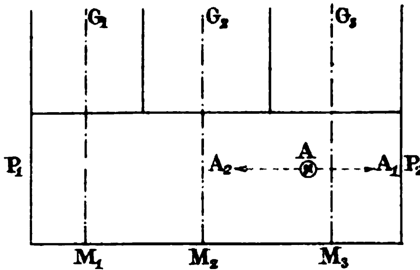


Fig. 10



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris

X DÉC

NDE.

nt __ N° 2 rectangulaire, N° 24 demi-circulaire.

es __ N° 3 rectangulaire.

hes N° 6 à 11, 18 à 20 rectangulaires, N° 21 à 23 trapé-zoïdaux et rectangulaires, N° 26 demi-circulaire.

le Chazilly, N° 36 à 43.

e Grosbois, N° 44 à 50.

e décharge du réservoir de Grosbois, N° 32 à 33.

d ______ du bief N° 52 ________, N° 34 à 35.

noulins, à Freyberg	Kg __ Coursiers de moulins, à Kagiswil.
seille	Mis __ Mississipi
ne	Mri __ Missouri
Grébenau	Rg. Rs. Rh. Rhin à Germersheim, à Spire, en Hollande
cours d'eau	Sa __ Saalach
ton Street	Sd __ Siphon de Dorchester Bay
oston)	(Égout collecteur de Boston)
n	Se __ Seine
ssaire du lac Fucino	So __ Saône
	Sz __ Salzach
	W __ Weser
l	Ce __ Escher-Canal
le Dubuat:	Cf __ Collecteur du lac Fucino
d	Co __ Rigole du canal Chesapeake (Ohio)
yne	Cs __ Simmen-Canal
	Rb __ Rhin à Bâle
rte de Scex	Rc __ Rhin près de la chûte

Formule

Formule nouv

34 66 49 46 Cm Cm

$I-0{,}0001$

L. G et K $n-0{,}012$





Héliotypie H. Racle, Paris

Sable graveleux

Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris.



Héliotypie H. Racle, Paris

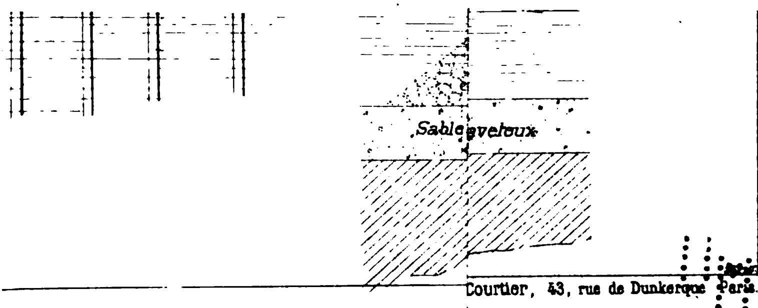

Sable graveleux
Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris.

Fig. 3.

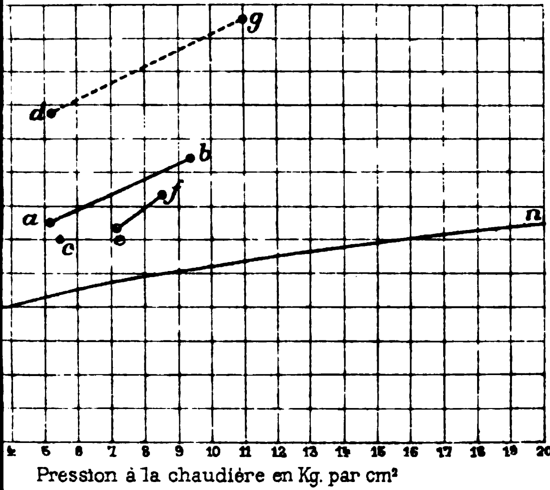


Fig. 4.

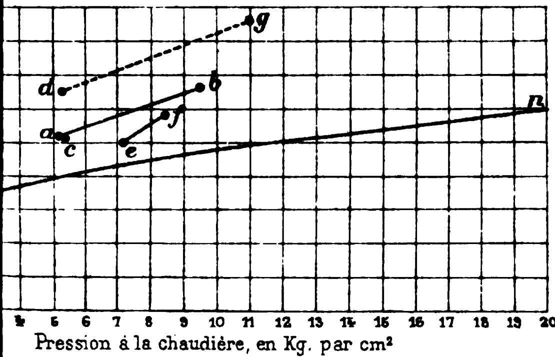
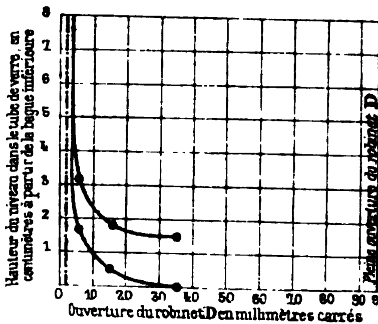




Fig. 8.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris.

